

## 明 細 書

### 多軸センサ

### 技術分野

- [0001] 本発明は、第1部材と第2部材とに外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角速度の少なくともいずれか1つを計測することができる多軸センサに関するものである。

### 背景技術

- [0002] 特許文献1には、図49に示すように、一対の対向する円形プレートから成る第1部材100および第2部材101と、これら第1部材100および第2部材101を連結する環状のブリッジ要素102と、各ブリッジ要素102に取り付けられた歪みゲージとを備えた力-モーメントセンサ103が記載されている。

- [0003] このセンサ103ではブリッジ要素102が第1部材100および第2部材101に対して垂直に設けられる。歪みゲージはブリッジ要素102の外周面あるいは孔104の内面に接着により取り付けられる。そして、第1部材100および第2部材101の間に加わった力やモーメントにより各ブリッジ要素102の円環形状がどの方向にどれだけ歪むかを検出することにより加わった力やモーメントを算出するようにしている。

特許文献1:特開昭63-78032号公報(図1、第5頁右下欄第12行-第6頁左上欄第14行、第7頁左上欄第20行-右上欄第12行)

### 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0004] 特許文献1に記載の技術では、歪みゲージの取り付けられるセンサ起歪体であるブリッジ要素102が複雑な3次元形状をしているので、第1部材100および第2部材101とブリッジ要素102とを組み立てたり加工するコストが高くなってしまふ。また、歪みゲージをブリッジ要素102の曲面などに3次元的に取り付けなければならないので、取り付け作業の時間が長くなり量産性が悪くコスト高を招いてしまふ。
- [0005] そこで、本発明の目的は、センサ起歪体を簡易な形状にできると共に歪みゲージの取り付け作業を簡単にできる多軸センサを提供することである。

## 課題を解決するための手段及び発明の効果

- [0006] 本発明の多軸センサは、外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角加速度のいずれか1つまたは複数を計測する多軸センサにおいて、一平面上に配置された複数の歪みゲージを備えている。
- [0007] この構成によると、各歪みゲージは一平面上に配置されているので、従来のように歪みゲージをブリッジ要素の曲面などに3次的に取り付ける場合に比べて取り付け作業の時間を短縮することができる。したがって、量産性を良くしてコストを下げるができるようになる。
- [0008] 本発明の多軸センサにおいて、複数の前記歪みゲージが取り付けられる第1のダイヤフラムをさらに備えていてもよい。この構成によると、歪みゲージの取り付けられるセンサ起歪体が簡易な形状になるので、多軸センサを組み立てるコストを下げるができる。
- [0009] 本発明の多軸センサにおいて、前記第1のダイヤフラムは前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離に配置されていてもよい。この構成によると、各第1のダイヤフラムの歪みゲージの抵抗値の変化から比較的簡易な計算により多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができる。
- [0010] 本発明の多軸センサにおいて、前記角度は90度であってもよい。この構成によると、平面の中心点を原点とする直交座標のX軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を容易に算出することができる。
- [0011] 本発明の多軸センサにおいて、前記第1のダイヤフラムは、前記中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ配置されていてもよい。この構成によると、X軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を極めて容易に算出することができる。
- [0012] 本発明の多軸センサにおいて、前記角度は120度であってもよい。この構成によると、3個の第1のダイヤフラムで多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができるので、多軸センサの構成を更に簡易化することができる。
- [0013] 本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムの薄肉部は円環形状で8個の前記歪みゲージを備えていると共に、前記歪みゲージの配置位置は、前記第1のダイ

ダイヤフラムの中心点と前記平面の中心点とを結ぶ線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部、および前記第1のダイヤフラムの中心点における前記線の垂直線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部であってもよい。この構成によると、第1のダイヤフラムの中で最も歪みが大きい部位に歪みゲージを取り付けることができるので、感度を高めることができる。

- [0014] 本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムの中央部に設けられた作用体をさらに備えると共に、該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を計測してもよい。この構成によると、多軸センサに加速度を加えると、作用体に対して慣性力が働く。したがって、作用体の変位し、第1のダイヤフラムに歪みが生じる。この第1のダイヤフラムの歪みを検知することによって、多軸の加速度および角加速度を計測することができる。
- [0015] 本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを有する第2部材と、対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えると共に、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測してもよい。この構成によると、一平面のみに歪みゲージを取り付けるだけで多軸の力およびモーメントを計測することができる。
- [0016] 本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、一平面上に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部材と、対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えると共に、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測してもよい。この構成によると、同じ力あるいはモーメントの成分を示す電気信号が独立して2系統存在するので、センサ出力を二重化して高精度化を図ることができる。
- [0017] 本発明の多軸センサにおいて、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていてもよい。この構成によると、2系統の電気信号を対等に扱うことができるので、精度が更に高くなる。

- [0018] 本発明の多軸センサは、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用してもよい。この構成によると、何らかの理由で歪みゲージが異常を起こしたときに他方の歪みゲージを利用して、多軸センサの利用を続行することができる。よって、極めて信頼性の高い制御システムを構築することができる。
- [0019] 本発明の多軸センサにおいて、前記平面に配置される前記第1のダイヤフラムは1つであってもよい。この構成によると、一平面上に第1のダイヤフラムを複数設けなくてもよいので、多軸センサを小型化することが可能となる。また、多軸センサの形状が簡素化するので、切削加工に要するコストを低減することができる。
- [0020] 本発明の多軸センサは、前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置において、前記第1のダイヤフラムと当接するように設けられた作用体をさらに有しており、該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を測定してもよい。この構成によると、多軸センサに加速度を加えると、作用体に対して慣性力が働く。したがって、作用体の変位し、第1のダイヤフラムに歪みが生じる。この第1のダイヤフラムの歪みを検知することによって、多軸の加速度および角加速度を計測することができる。
- [0021] 本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを1つ有する第2部材と、前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとのそれぞれの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定してもよい。この構成によると、一平面のみに歪みゲージを取り付けるだけで多軸の力およびモーメントを計測することができる。
- [0022] 本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、一平面に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部

材と、前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、前記第1及び第2のダイヤフラムの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定してもよい。この構成によると、同じ力あるいはモーメントの成分を示す電気信号が独立して2系統存在するので、センサ出力を二重化して高精度化を図ることができる。

[0023] 本発明の多軸センサにおいて、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていてもよい。この構成によると、2系統の電気信号を対等に扱うことができるので、精度が更に高くなる。

[0024] 本発明の多軸センサにおいて、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用してもよい。この構成によると、何らかの理由で歪みゲージが異常を起こしたときに他方の歪みゲージを利用して、多軸センサの利用を続行することができる。よって、極めて信頼性の高い制御システムを構築することができる。

[0025] 本発明の多軸センサにおいて、前記角度は90度であってもよい。この構成によると、第1のダイヤフラムの中心点を原点とする直交座標のX軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を容易に算出することができる。

[0026] 本発明の多軸センサにおいて、前記作用体は、前記第1のダイヤフラムの中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ形成されていてもよい。この構成によると、第1のダイヤフラムの中心点を原点とする直交座標のX軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を極めて容易に算出することができる。

[0027] 本発明の多軸センサにおいて、前記角度は120度であってもよい。この構成によると、第1のダイヤフラムに3つの作用体を形成することで、多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができるので、多軸センサの構成を更に簡易化すること

ができる。

- [0028] 本発明に多軸センサにおいて、前記歪みゲージの配置位置は、前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点と前記第1のダイヤフラムの中心点とを結ぶ線上における前記作用体の縁、前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点における前記線の垂直線上において前記作用体の縁、および前記第1のダイヤフラムの中心点から等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置における前記作用体の縁または前記第1のダイヤフラムの縁であってもよい。この構成によると、第1のダイヤフラムの中で最も歪みが大きい部位に歪みゲージを取り付けることができるので、感度を高めることができる。また、一平面に複数の第1のダイヤフラムを設ける場合に比べて少ない歪みゲージで、多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができる。したがって、歪みゲージのコストおよび配線のコストを削減することができる。

- [0029] 本発明に多軸センサにおいて、前記歪みゲージはピエゾ抵抗素子であってもよい。この構成によると、ピエゾ抵抗素子は箔歪みゲージに比べてゲージ率が10倍以上大きいので、箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を10倍以上大きくすることができる。

- [0030] 本発明の多軸センサにおいて、前記歪みゲージは絶縁膜上に酸化クロム薄膜で形成した歪みゲージであってもよい。この構成によると、一般的な箔歪みゲージに比べてゲージ率が10倍以上大きいので、一般的な箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を10倍以上大きくすることができる。

#### 発明を実施するための最良の形態

- [0031] 以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しつつ説明する。図1Aは、本発明の第1の実施の形態による多軸センサ1を第2部材3側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図であり、図1Bは多軸センサ1の中央縦断面正面図である。図1A及び図1Bにおいて、多軸センサ1は、第1部材2と第2部材3とに外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角加速度のいずれかを計測するものである。この多軸センサ1は、一平面上に配置された複数の歪みゲージR11〜R48を備えている。第1部材2および第2部材3は円盤形状のフランジから成

る。歪みゲージR11〜R48は第1部材2の表側面2aのみに取り付けられている。

[0032] ここでは説明の便宜上XYZ三次元座標系を定義し、この座標系を参照しながら各部品に配置説明を行うことにする。図1Bにおいては、第1部材2の表側面2aの中心位置が原点O、右水平方向がX軸、紙面に垂直手前方向がY軸、下垂直方向がZ軸とそれぞれ定義される。つまり、第1部材2の表側面2aはXY平面を規定し、第1部材2の中心位置にZ軸が通ることになる。

[0033] 第1部材2および第2部材3は、それぞれ対向する4つのダイヤフラム4、5、6、7を備えている。各ダイヤフラム4〜7は薄肉状にされている。各ダイヤフラム4〜7の中央部には中心軸8が設けられている。互いに向き合うダイヤフラム4〜7の中心軸8同士がボルト9により連結されている。これにより、第1部材2と第2部材3とが一体化されている。また、各ダイヤフラム4〜7は中心軸8を備えていることにより薄肉部が円環形状となっている。

[0034] 第1部材2のダイヤフラム4〜7は、原点Oを中心に等角度おき、かつ原点Oから等距離に配置されている。ここでは、90度おきに配置されている。さらに、第1部材2のダイヤフラム4〜7は、X軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ配置されている。また、第2部材3のダイヤフラム4〜7は、第1部材のダイヤフラム4〜7と対向するように配置されている。よって、この多軸センサ1は3次元空間の直交する3軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための6軸力覚センサとして機能する。図2に、X軸、Y軸、Z軸の方向と、各軸に対するモーメントMx、My、Mzの方向を示す。

[0035] 第1部材2の各ダイヤフラム4〜7は8個の歪みゲージを備えている。歪みゲージR11〜R48の配置位置は、図1Aに示すように第1部材2のX軸とY軸の各々においてダイヤフラム4〜7の薄肉部分の外縁部と内縁部である。すなわち、歪みゲージR11〜R48は多軸センサ1において最も大きな歪みが発生する場所に貼り付けられている。なお、歪みゲージのリード線の図示は省略している。

[0036] 歪みゲージR11〜R48としては、金属箔歪みゲージや金属線歪みゲージを用いている。歪みゲージR11〜R48は一種の抵抗体であり、歪みの発生する場所に貼り付けて使用する検出素子である。歪みの発生により抵抗値が変化することにより、歪み $\varepsilon$ を測定することができる。一般には、引張りによる歪み $\varepsilon$ に対しては抵抗値が大き

くなり、圧縮による歪み  $\varepsilon$  に対しては抵抗値が小さくなる比例特性を持っている。また、通常は材料が歪み  $\varepsilon$  に対して応力  $\sigma$  が比例する弾性域で使用する。本実施形態でも第1部材2の弾性域で使用するものとしている。

- [0037] 各ダイヤフラム4ー7は大きさや厚さを同じにしている。このため、剛性が等しくなる。これにより、例えば図3に示すように、第1部材2と第2部材3と中心軸8とが全体として平行四辺形の四辺を構成するように変位するときに、各ダイヤフラム4ー7に力の方  
向や大きさに応じた歪みが歪みゲージR11ーR48に発生するようになるので、力や  
モーメントを高精度に検出することができる。なお、歪みゲージの取り付け作業を簡  
易にしたり歪みゲージの保護を図るために、取り付け位置に段差を設けてもよい。ま  
た、ダイヤフラム4ー7以外の部分には他の部材への取り付け用のタップ穴を形成し  
てもよい。また、第1部材2と第2部材3とは、中心軸8同しがボルト9により連結され  
ているが、ボルト9を使用せず、直接一体切削加工して形成してもよいし、溶接により中  
心軸8同しを接合してもよい。
- [0038] 次に、各軸方向ごとに力とモーメントを検出する原理を説明する。以下、第1部材2  
を固定し、第2部材3に力やモーメントが作用するものとする。
- [0039] 図3に、X軸方向の力 $F_x$ を加えたときの状態を示す。このときは、第1部材2および  
第2部材3の全てのダイヤフラム4ー7が図示したように変位し、歪みが検出される。図  
4に歪みゲージR11ーR48の変化を示す。図中、(+)は抵抗値の増加を、(-)は抵  
抗値の減少を示す。どちらの記号も無い歪みゲージは抵抗値の変化が殆ど無い。
- [0040] 次に、Y軸方向の力 $F_y$ を加えたときは、X軸方向の力 $F_x$ を加えたときの状態を90  
度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。
- [0041] 図5にZ軸方向の力 $F_z$ を加えたときの多軸センサ1の状態を示す。図6に、このとき  
の各歪みゲージの変化を示す。
- [0042] 図7にX軸のモーメント $M_x$ を加えたときの多軸センサ1の状態を示す。図8に、この  
ときの各歪みゲージの変化を示す。
- [0043] 次に、Y軸のモーメント $M_y$ を加えたときは、X軸のモーメント $M_x$ を加えたときの状態  
を90度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。
- [0044] Z軸のモーメント $M_z$ を加えたときは、第2部材3をZ軸を中心に回転させる。図9に、



このときの各歪みゲージの変化を示す。

[0045] 表1に上述した各力およびモーメントに対する歪みゲージR11～R48の変化を示す。表中、+は抵抗値の増加、-は抵抗値の減少を示し、符号無しは抵抗値が殆ど変化しないことを示す。また、反対方向の力やモーメントの場合は符号が逆になる。

[0046] [表1]

力	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28
Fx	-	+	-	+					-	+	-	+				
Fy					-	+	-	+					-	+	-	+
Fz	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Mx									+	-		+				
My	+	-	-	+	+	-	-	+					+	-	-	+
Mz					-	+	-	+	-	+	-	+				
力	R31	R32	R33	R34	R35	R36	R37	R38	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48
Fx	-	+	-	+					-	+	-	+				
Fy					-	+	-	+					-	+	-	+
Fz	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Mx									-	+	+	-				
My	-	+	+	-	-	+	+	-					+	-	-	+
Mz					+	-	+	-	+	-	+	-				

[0047] 以上の性質を利用して、数式1の演算を行うことにより各力およびモーメントを検出

することができる。

[0048] [数1]

$$\begin{aligned} F_x &= (R_{22} + R_{42}) - (R_{23} + R_{43}) \\ F_y &= (R_{16} + R_{36}) - (R_{17} + R_{37}) \\ F_z &= (R_{13} + R_{26} + R_{32} + R_{47}) - (R_{11} + R_{28} + R_{34} + R_{45}) \\ M_x &= (R_{25} + R_{46}) - (R_{27} + R_{48}) \\ M_y &= (R_{14} + R_{33}) - (R_{12} + R_{31}) \\ M_z &= (R_{18} + R_{24} + R_{35} + R_{41}) - (R_{15} + R_{21} + R_{38} + R_{44}) \end{aligned}$$

[0049] この演算では各歪みゲージR11～R48が1回ずつ使用されるので無駄が無く、また電圧に変換してOPアンプで演算する場合に都合がよい。また、構造上剛性が強くなって感度が低くなるFzおよびMzについては他のときの2倍の8個の歪みゲージが割り付けられるので、感度を高めることができる。なお、演算方法は数式1に限られないのは勿論である。

[0050] また、数式1の演算は各抵抗値を既知あるいは新規の手段を用いて電圧に変換し、OPアンプで演算しても良く、あるいはAD変換器を用いてマイクロコントローラやコンピュータを用いて演算してもよい。

[0051] あるいは、図10に示すようにブリッジ回路を構成して定電圧または定電流を印加しても力およびモーメントを検出することができる。さらに、ハーフブリッジを構成して歪みゲージの数を減らしても検出することができる(図示せず)。なお、歪みゲージの組み合わせは図10に示したものに限られないのは勿論である。

[0052] なお、本実施形態では第1部材2の各ダイヤフラム4～7をX軸あるいはY軸上に配置しているが、これには限られない。すなわち、同じ構造の多軸センサ1の設置方向を変更して、第1部材2の各ダイヤフラム4～7が軸上に位置しないようにしてもよい。この場合、6軸センサとしては機能せず、5軸センサとなる。また、本実施形態では6軸センサとして使用しているが、これには限られず例えばX軸とY軸の2方向の力だけを検出する2軸センサとして使用してもよい。

[0053] 次に、本発明の第2の実施の形態について、図11を参照して説明する。図11に示すように、第2の実施の形態は、歪みゲージとしてピエゾ抵抗素子10を用いている。そして、半導体製造プロセスを利用して、1つのダイヤフラムに必要なピエゾ抵抗素

子10を1枚の半導体Siウェハ11に集積してダイヤフラムにダイボンディングして固定している。ピエゾ抵抗素子10は箔歪みゲージに比べてゲージ率が10倍以上大きく、箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を10倍以上大きくすることができる。

[0054] 次に、本発明の第3の実施の形態について、図12を参照して説明する。第3の実施の形態は、多軸センサ1の構造としては第1の実施形態と同様であるが、ブリッジの構成を変形している。図12に示すように、各ブリッジは、各ダイヤフラム4ー7上に直線的に配置された4個の歪みゲージから構成されている。これにより、各ダイヤフラム4ー7の歪みの発生状況が8個の電圧として直接出力されるようになる。

[0055] この場合、数式2により演算を行って力とモーメントを算出することができる。

[0056] [数2]

$$F_x = V_4 - V_2$$

$$F_y = V_3 - V_1$$

$$F_z = V_5 + V_6 + V_7 + V_8$$

$$M_x = V_8 - V_6$$

$$M_y = V_7 - V_5$$

$$M_z = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

[0057] 数式2の演算は各抵抗値を既知あるいは新規の手段を用いて電圧に変換し、OPアンプで演算しても良く、あるいはAD変換器を用いてマイクロコントローラやコンピュータを用いて演算してもよい。

[0058] 次に、本発明の第4の実施の形態について、図13及び図14を参照して説明する。第4の実施の形態は、第1の実施の形態と同様に第1部材2に歪みゲージR11ーR48が取り付けられると共に、図13に示すように重心点O'と点対称の位置に歪みゲージR111ーR148が第2部材3に取り付けられている。このような機械的な対称性により、多軸センサ1に力やモーメントが加わると各ダイヤフラム4ー7には力の種類に応じた対称的な歪みが発生する。すなわち、本発明の多軸センサ1が歪みゲージを一平面に配置していることから、2組の歪みゲージR11ーR48、R111ーR148を対称な位置に配置できるという特徴を利用したものである。

[0059] 歪みゲージR11ーR48は図10と同様の回路を構成し、力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ およびモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ に対応した電圧 $V_{fx1}$ 、 $V_{fy1}$ 、 $V_{fz1}$ 、 $V_{mx1}$ 、 $V_{my1}$ 、 $V_{mz1}$ を

出力するようにする。歪みゲージR111〜R148についても図10と同様の回路を構成し、力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ およびモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ に対応した電圧 $V_{fx2}$ 、 $V_{fy2}$ 、 $V_{fz2}$ 、 $V_{mx2}$ 、 $V_{my2}$ 、 $V_{mz2}$ を出力するようにする。ただし、ある力やモーメントを加えた場合に、電圧 $V_{fx1}$ 、 $V_{fy1}$ 、 $V_{fz1}$ 、 $V_{mx1}$ 、 $V_{my1}$ 、 $V_{mz1}$ の信号の増減と、電圧 $V_{fx2}$ 、 $V_{fy2}$ 、 $V_{fz2}$ 、 $V_{mx2}$ 、 $V_{my2}$ 、 $V_{mz2}$ の信号の増減とが一致するように回路上の設定をしておくものとする。

- [0060] 以上のように本実施形態では同じ力あるいはモーメントの成分を示す電気信号が独立して2系統存在し、センサ出力の二重化が図られている。
- [0061] 図14は、各力またはモーメントを検出するブリッジの信号である $V_{fx1}$ 、 $V_{fy1}$ 、 $V_{fz1}$ 、 $V_{mx1}$ 、 $V_{my1}$ 、 $V_{mz1}$ 、 $V_{fx2}$ 、 $V_{fy2}$ 、 $V_{fz2}$ 、 $V_{mx2}$ 、 $V_{my2}$ 、 $V_{mz2}$ を増幅するためのアンプ回路12の一例である。ここでは、定格負荷の範囲では電源電圧の25〜75%範囲の電圧値になるように調整してある。さらに、このアンプ出力はマイクロコントローラ13のAD変換ポート14に入力してある。
- [0062] 一般に歪みゲージで構成したブリッジ回路の出力の変化は数mVと微小なためアンプなどで数百倍以上に増幅しなければならない。高感度なピエゾ抵抗素子10を用いても出力感度は金属箔歪みゲージの10倍程度である。このため、もしブリッジ回路を構成する歪みゲージが何らかの原因のために断線するようなことがあるとアンプ出力のバランスが崩れて電源電圧の下限または上限付近まで偏ってしまう。
- [0063] そこで、センサの出力信号が二重化されていることを利用して、図14に示すように以下の処理を行うようにする。
- [0064] アンプの電源電圧の低い方を $V_{ee}$ 、高い方を $V_{cc}$ とする。多軸センサ1が通常の使用の範囲で出力しないと考えられる電圧の小さい方を $V_L$ とし、大きい方を $V_H$ とする。ただし、 $V_{ee} < V_L$ 、 $V_H < V_{cc}$ で、 $V_L$ および $V_H$ はAD変換した値とする。なお、 $V_L$ と $V_H$ は多軸センサ1の特性に合わせて出力ごとに決めるようにしてもよい。
- [0065] そして、X軸方向の力 $F_x$ の場合、マイクロコントローラで $V_L \leq V_{fx1} \leq V_H$ 、 $V_L \leq V_{fx2} \leq V_H$ か判定する(S1、S2)。両方とも範囲内であれば(S1; Yes、S2; Yes)、 $V_{fx1}$ の信号を優先して制御信号として採用する(S3)。
- [0066] もし $V_{fx1}$ が範囲外であれば(S1; No)、出力異常と判断して $V_{fx2}$ を確認する(S4)

。Vfx2が範囲内であれば(S2;Yes)、Vfx1の代わりにVfx2を力Fxの信号として処理する。Vfx2も範囲外であれば(S2;No)、両方の出力が異常と判断して非常停止などの異常処理をする(S5)。

[0067] Fx以外の力やモーメントについても同様の処理を行う。

[0068] 本実施形態によれば、出力信号を二重化することにより、一方の出力が歪みゲージの断線などによって出力異常を起こしても他方の出力を利用して多軸センサ1の利用を続行することができる。よって、極めて信頼性の高い制御システムを構築することができる。

[0069] 次に、本発明の第5の実施の形態について、図15を参照して説明する。図15は、第5の実施の形態による多軸センサ1を第2部材3側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージR11〜R38の配置を描いた平面図である。第5の実施の形態では、第1部材2および第2部材3はそれぞれ対向する3つのダイヤフラム4〜6を備えている。この多軸センサ1は3次元空間の直交する3軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための6軸力覚センサである。

[0070] 第1部材2のダイヤフラム4〜6は、原点Oを中心に等角度おき、かつ原点Oから等距離に配置されている。ここでは、120度おきに配置されている。また、第2部材3のダイヤフラム4〜6は、第1部材のダイヤフラム4〜6と対向するように配置されている。第1部材2の各ダイヤフラム4〜6は、8個の歪みゲージを備えている。第1部材2の表側面2aでの歪みゲージR11〜R38の配置位置は、ダイヤフラム4〜6の中心点と原点Oとを結ぶ直線上においてダイヤフラム4〜6の外縁部と内縁部、およびダイヤフラム4〜6の中心点における上記直線の垂直線上においてダイヤフラム4〜6の外縁部と内縁部としている。

[0071] 具体的には、歪みゲージR11〜R14は原点Oを通りY軸負方向からX軸正方向に120度をなす線分OC上に配置されている。歪みゲージR31〜R34は原点Oを通りY軸負方向からX軸負方向に120度をなす線分OD上に配置されている。また、歪みゲージR15〜R18は線分OCと直交する方向に配置されている。歪みゲージR35〜R38は線分ODと直交する方向に配置されている。歪みゲージR21〜R28は第1の実施形態と同様である。

- [0072] また、歪みゲージとしては第1の実施形態と同様に金属箔歪みゲージとしたり、あるいは第2の実施形態と同様にピエゾ抵抗素子10とすることができる。その他の構成は第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。
- [0073] 本実施形態により各軸方向ごとに力とモーメントを検出する原理を説明する。以下、第1部材2を固定し、第2部材3に力やモーメントが作用するものとする。直線状に配置された4個の歪みゲージから成る歪みゲージ群は、配置された列方向に引っ張りや圧縮の歪みを加えた場合、最も歪みに対する抵抗値の変化の率が大きくなり感度が高くなる。図15に示すように6個の歪みゲージ群があるが、それぞれ最も感度が高くなる方向が異なる。しかし、各歪みゲージ群の感度をX、Y、Z軸方向のベクトルに分解して考えれば6軸成分の力やモーメントを検出することができる。
- [0074] 図15に示す歪みゲージR11〜R38に対して図16に示すブリッジ回路を構成し定電圧または定電流を加える。これにより、歪みゲージR15〜R18でX軸正方向からY軸負方向に60度方向の力の成分を電圧V1として検出でき、歪みゲージR25〜R28でX軸正方向からY軸負方向に90度方向の力の成分を電圧V2として検出でき、歪みゲージR35〜R38でX軸正方向からY軸負方向に300度方向の力の成分を電圧V3として検出できる。また、R11〜R14、R25〜R28、R31〜R34では、各ダイヤモンド4〜6の中心のZ軸方向の力をそれぞれV4、V5、V6として検出できる。
- [0075] ここで、各ブリッジ回路の図16中の節点電圧をe1〜e12とすると、数式3が導かれる。
- [0076] [数3]

$$\begin{aligned}V1 &= e1 - e2 \\V2 &= e3 - e4 \\V3 &= e5 - e6 \\V4 &= e7 - e8 \\V5 &= e9 - e10 \\V2 &= e11 - e12\end{aligned}$$

- [0077] このうちV1、V2、V3については、X軸とY軸成分のベクトルに分解して数式4のように表すことができる。

- [0078] [数4]

$$V1 = (V1X, V1Y) = (V1/2, V1 \cdot \sqrt{3}/2)$$

$$V2 = (V2X, V2Y) = (V2, 0)$$

$$V3 = (V3X, V3Y) = (V3/2, V3 \cdot \sqrt{3}/2)$$

[0079] したがって、第2部材3に作用するX軸方向の合力を $F_x$ 、Y軸方向の合力を $F_y$ とすると数式5のように検出することができる。

[0080] [数5]

$$F_x = (V1/2) + V2 + (V3/2)$$

$$F_y = (V1 \cdot \sqrt{3}/2) + (V3 \cdot \sqrt{3}/2)$$

[0081] 図17にY軸負方向に力 $F_y$ を加えたときのダイヤフラム5の変位の状態を示す。このとき、歪みゲージR25とR27は引っ張り方向の歪みが発生して抵抗値が大きくなり、歪みゲージR26とR28は圧縮方向の歪みが発生して抵抗値が小さくなる。力 $F_y$ と直交する方向に配置された歪みゲージR21〜R24には殆ど歪みが発生しない。

[0082] 他の2つのダイヤフラム4、6にもY軸方向に同様の変位や歪みが発生している。しかし、歪みゲージR11〜R18、R31〜R38の配置方向はX軸やY軸の方向と異なっているので、各歪みゲージの抵抗値の変化は歪みゲージR21〜R28とは異なる。歪みゲージは配置された列方向に感度が最大になるように貼り付けられているので、歪みゲージR11〜R18、R31〜R38は力 $F_y$ の方向であるY軸と各歪みゲージ群がなす角度により感度が決定される。

[0083] X軸方向の力 $F_x$ についても同様である。よって、X軸およびY軸方向の力は数式5により算出することができる。

[0084] 次に、図18にZ軸方向の力 $F_z$ を加えたときのダイヤフラム5の変位の状態を示す。図19に歪みゲージR11〜R38の変化を示す。図16に示すブリッジ回路では、 $V1$ 、 $V2$ 、 $V3$ は抵抗の変化が打ち消しあって変化しない。 $V4$ 、 $V5$ 、 $V6$ はZ軸方向の力 $F_z$ に応じて変化する。したがって、力 $F_z$ は数式6により求めることができる。

[0085] [数6]

$$F_z = V_4 + V_5 + V_6$$

[0086] 次に、第2部材3にモーメント $M_x$ を加えた場合、X軸を中心に回転する力が加えられる。このため、各ダイヤフラム4～6ではZ軸方向の力 $F_z$ が加わる。ここで、図20において、モーメント $M_x$ がダイヤフラム4、6を図面表側から裏側に向けて押すと共に、ダイヤフラム5を図面裏側から表側に向けて引っ張るように作用したとする。原点Oからダイヤフラム4～6の中心までの距離を $R$ とすると、ダイヤフラム4、6の中心からX軸までの距離は $R/2$ となり、ダイヤフラム5の中心からX軸までの距離は $R$ となる。したがって、X軸回りのモーメント $M_x$ は数式7で表される。

[0087] [数7]

$$M_x = (V_4 \cdot R/2) - (V_5 \cdot R) + (V_6 \cdot R/2)$$

[0088] 次に、第2部材3にモーメント $M_y$ を加えた場合、ダイヤフラム4、6の中心からY軸までの距離は $\sqrt{3}R/2$ となるので、Y軸回りのモーメント $M_y$ は数式8で表される。

[0089] [数8]

$$\begin{aligned} M_y &= (V_4 \cdot \sqrt{3}R/2) + V_5 \cdot 0 - (V_6 \cdot \sqrt{3}R/2) \\ &= \sqrt{3}R/2 (V_4 - V_6) \end{aligned}$$

[0090] 次に、図21にZ軸右回りのモーメント $M_z$ を加えたときのダイヤフラム4～6の変位の状態を示す。図22に歪みゲージR11～R38の変化を示す。歪みゲージ群R15～R18、R21～R24、R35～R38は最も感度がよい方向に歪みが発生し、図16のV1、V2、V3が最も高感度に変化する。

[0091] 一方、歪みゲージ群R11～R14、R25～R28、R31～R34は歪みゲージの感度が最も小さくなる配列方向なので、図16のV4、V5、V6はほとんど変化しない。したがって、モーメント $M_z$ は数式9で表される。

[0092] [数9]



$$M_z = V_1 + V_2 + V_3$$

[0093] 以上に示す数式5―数式9を利用して演算を行うことにより、力やモーメントを求めることができる。例えば出力電圧V1―V6をAD変換してマイクロコントローラやコンピュータを用いて演算してもよい。

[0094] ここで、多軸センサ1への力Fx、Fy、FzとモーメントMx、My、Mzの出力電圧をVfx、Vfy、Vfz、Vmx、Vmy、Vmzとし、多軸センサ1に実際に加わる荷重をFx、Fy、Fz、Mx、My、Mzとしたとき、数式10の関係になる。

[0095] [数10]

$$\begin{bmatrix} V_{fx} \\ V_{fy} \\ V_{fz} \\ V_{mx} \\ V_{my} \\ V_{mz} \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad [A] \text{はキャリブレーション行列}$$

[0096] ここで両辺の左から[A]<sup>-1</sup>を乗ずると数式11となる。

[0097] [数11]

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = [A]^{-1} \begin{bmatrix} V_{fx} \\ V_{fy} \\ V_{fz} \\ V_{mx} \\ V_{my} \\ V_{mz} \end{bmatrix}$$

[0098] これにより、出力電圧から正確な6軸の力およびモーメントを求めることができる。

- [0099] 次に、本発明の第6の実施の形態について、図23および図24を参照して説明する。図23は第6の実施の形態による多軸センサ1の中央縦断面正面図であり、図24は多軸センサ1をZ軸方向と反対方向に透視したときの歪みゲージR11〜R48の配置を描いた平面図である。第6の実施の形態では、多軸センサ1は全体として1枚の円盤形状であり、4つのダイヤフラム4〜7を備えている。この多軸センサ1は3次元空間の直交する3軸方向の加速度とその軸回りの角加速度を測定するための6軸センサである。また、多軸センサ1のダイヤフラム4〜7以外の部位、例えば外縁部が測定対象15に固定されている。
- [0100] ダイヤフラム4〜7は第1の実施形態と同様に配置されている。ただし、第1の実施形態とは異なり、対向するダイヤフラム4〜7は存在しない。各ダイヤフラム4〜7の中央部には加速度を受けて変位する作用体16、17、18、19が設けられている。作用体16〜19の一端はダイヤフラム4〜7に固定され、他端は自由端になっている。また、作用体16〜19は、いずれも同一形状である。
- [0101] また、歪みゲージR11〜R48としては第1の実施形態と同様に金属箔歪みゲージとしたり、あるいは第2の実施形態と同様にピエゾ抵抗素子とすることができる。その他の構成は第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。
- [0102] なお、本実施の形態では、図23において、作用体16の重心Gと作用体18の重心Gとを結ぶ線分の中心点を原点O、右水平方向をX軸、紙面に垂直手前方向Y軸、下垂直方向をZ軸とそれぞれ定義する。
- [0103] 本実施形態により各軸方向ごとに加速度と角加速度を検出する原理を説明する。
- [0104] X軸方向の加速度 $a_x$ を受けた場合、図25に示すように作用体16〜19が変位し、各ダイヤフラム4〜7に歪みが発生する。このとき、歪みゲージR11〜R48は図26のようにX軸方向に配列されたもののみが増加する。
- [0105] また、Y軸方向の加速度 $a_y$ を受けた場合は、X軸方向の加速度 $a_x$ を受けた場合と90度ずれているだけなので説明を省略する。
- [0106] 次に、Z軸方向の加速度 $a_z$ を受けた場合は、図27に示すように作用体16〜19が変位する。これにより、歪みゲージR11〜R48は図28に示すようになる。
- [0107] さらに、各軸を中心とする角加速度が作用する場合について考える。作用体16〜1

9に作用するダイヤフラム4ー7に垂直な加速度を $az1$ 、 $az2$ 、 $az3$ 、 $az4$ とする。そして、回転の中心をY軸とする角加速度 $\alpha_y$ が作用すると、図29に示すように作用体16、18に加速度 $az1$ 、 $az3$ が作用して変位し、ダイヤフラム4ー7に歪みが発生する。このときの歪みゲージR11ーR48の変化を図30に示す。

[0108] 次に、回転の中心をZ軸とする角加速度 $\alpha_z$ が作用すると、作用体16ー19がZ軸を中心に同じ回転方向に変位しダイヤフラム4ー7に歪みが発生する。このときの歪みゲージR11ーR48の変化を図31に示す。

[0109] 以上の各加速度および各角加速度に対する歪みゲージR11ーR48の抵抗値の変化を表2に示す。

[0110] [表2]

力	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28
$a_x$	-	+	-	+					-	+	-	+				
$a_y$					-	+	-	+					-	+	-	+
$a_z$			-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
$\alpha_x$									-	+	+	-	-	+	+	-
$\alpha_y$		+	+	-	-	+	+	-								
$\alpha_z$					-	+	-	+	-			+				
力	R31	R32	R33	R34	R35	R36	R37	R38	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48
$a_x$	-	+	-	+					-	+	-	+				
$a_y$					-	+	-	+					-	+	-	+
$a_z$			-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
$\alpha_x$									+	-	-	+	+	-	-	+
$\alpha_y$	+	-	-	+	+	-	-	+								
$\alpha_z$							+	-	+	-	+	+				

[0111] この多軸センサ1は4個の3軸加速度センサの集合体であるが、以下の原理を利用して加速度から角加速度を検出できる。まず、半径 $r$ の円周上を円運動(回転運動)するとき、その接線加速度 $a$ は角加速度を $\alpha$ とすると、 $a=r \cdot \alpha$ 、すなわち $\alpha=a/r$ となる。

[0112] 多軸センサ1の中心から見ると、接線加速度 $a$ とは作用体16～19に働く加速度と同

じである。半径 $r$ は一定なので、結局 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 軸方向の加速度を求めれば角加速度を求めることができる。

[0113] これを利用して数式12の演算を行うことにより加速度および角加速度を検出することができる。

[0114] [数12]

$$\begin{aligned} a_x &= (R22 + R42) - (R23 + R43) \\ a_y &= (R16 + R36) - (R17 + R37) \\ a_z &= (R11 + R28 + R34 + R45) - (R13 + R26 + R32 + R47) \\ \alpha_x &= (R25 + R46) - (R27 + R48) \\ \alpha_y &= (R14 + R33) - (R12 + R31) \\ \alpha_z &= (R18 + R24 + R35 + R41) - (R15 + R21 + R38 + R44) \end{aligned}$$

[0115] また、図32に示すようにブリッジ回路を構成して定電圧または定電流を印加しても加速度および角加速度を検出することができる。

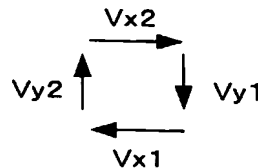
[0116] この実施形態では、ダイヤフラム4〜7の厚さや梁の厚さや幅、作用体16〜19の大きさなどの寸法を調整してセンサ感度を調整することができる。また、本実施形態では角加速度を求めているが、この角加速度を積分することにより角速度を求めるようにしてもよい。

[0117] 次に、本発明の第7の実施の形態について、図33を参照して説明する。第7の実施の形態は、多軸センサ1の構造としては第6の実施形態と同様であるが、ブリッジの構成を変形している。図33に示すように、各ブリッジは、各ダイヤフラム4〜7上に直線的に配置された4個の歪みゲージから構成されている。

[0118]  $V_{x1}$ 、 $V_{x2}$ は $X$ 軸方向の加速度を示す電圧信号であり、 $V_{y1}$ 、 $V_{y2}$ は $Y$ 軸方向の加速度を示す電圧信号である。また、 $V_{z1}$ 〜 $V_{z4}$ は $Z$ 軸方向の加速度を示す電圧信号である。これらの信号を元に数式13に示す演算を行えば、感度良く加速度と角加速度を検出することができる。

[0119] [数13]

$$\begin{aligned}
 a_x &= (V_{x2}) - (V_{x1}) \\
 a_y &= (V_{y2}) - (V_{y1}) \\
 a_z &= (V_{z1}) + (V_{z2}) + (V_{z3}) + (V_{z4}) \\
 \alpha_x &= (V_{z2}) - (V_{z4}) \\
 \alpha_y &= (V_{z1}) - (V_{z3}) \\
 \alpha_z &= (V_{x1}) + (V_{x2}) + (V_{y1}) + (V_{y2})
 \end{aligned}$$



- [0120]  $a_x$ ,  $a_y$ は、 $V_{x1}$ ,  $V_{x2}$ または $V_{y1}$ ,  $V_{y2}$ のいずれを用いても検出可能である。いずれにせよ、差動にすることにより感度を大きくすることができる。
- [0121] 次に、本発明の第8の実施の形態について、図34および図35を参照して説明する。図34は第8の実施の形態の多軸センサ1の平面図、図35は多軸センサ1の中央縦断面図である。この多軸センサ1は、第6の実施形態と同様に、3次元空間の直交する3軸方向の加速度とその軸回りの角加速度を測定するための6軸センサである。この多軸センサ1では、半導体プロセスを利用し、シリコン基板20上にピエゾ抵抗素子10を形成すると共に、ピエゾ抵抗素子10を利用して加速度と角加速度を検出するためのブリッジ回路を形成している。さらに、このシリコンウェハ11にガラス基板を接合し、マイクロマシニング技術を利用して台座21や作用体16〜19を形成している。なお、ピエゾ抵抗素子10を形成するシリコンウェハ11の面方位によりゲージ率が異なるが、適切な面方位を選択することにより感度のバラツキを最低限に抑えることができる。
- [0122] 本実施形態では、検出素子であるピエゾ抵抗素子10を作用体16〜19と台座21を接続する梁22として機能させている。また、開口部23を設けることにより、作用体16〜19は加速度の作用を受けて変位し易くなり感度を高めることができる。なお、この開口部23は方形でも円形でも良く、また必ずしも設けなくてもよい。
- [0123] 本実施形態によれば、シリコン基板20に半導体プロセスを利用してセンサ信号の処理回路などを同時に形成でき、信号処理回路とセンサの構造体をコンパクトに一体化することができる。このため、信号処理回路とセンサの検出素子との配線を短くできるので、ノイズの影響を受け難く安定した動作を可能とすると共に多軸センサ1を小型化できるので設置面でも有利になる。さらに、半導体プロセスやマイクロマシニング技術の利用により、低コストで効率良く製造でき組立精度を高めることができる。

- [0124] 次に、本発明の第9の実施の形態について、図36および図37を参照して説明する。図36は、本発明の第9の実施の形態の多軸センサ1の中央断面図、図37は多軸センサ1を第2部材3側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。本実施の形態の多軸センサ1は、第1の実施の形態の多軸センサ1と同様に3次元空間の直交する3軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための6軸力覚センサである。本実施の形態の多軸センサ1の構成が、第1の実施の形態の多軸センサ1と主に異なる点は、第1の実施の形態では、第1部材2および第2部材3は4つのダイヤフラム4、5、6、7をそれぞれ備えているが、本実施の形態の第1部材2および第2部材3は、1つのダイヤフラム4をそれぞれ備えている点である。
- [0125] 本実施の形態の多軸センサ1は、第1部材2と、第2部材3と、作用体16〜19とを有している。第1部材2と第2部材3とは、第1部材2の上面と第2部材3の下面とが対向するように配置されている。そして、第1部材2と第2部材3とは、作用体16〜19によって連結されている。
- [0126] 第1部材2および第2部材3にそれぞれ備えられているダイヤフラム4は、互いに等しい径を有する円形状であると共に、その縁近傍には円環状の肉厚部24が形成されている。また、第1部材2のダイヤフラム4の上面には、円柱形状の4つの作用体16〜19が形成されている。作用体16はX軸上の正方向、作用体17はY軸上の負方向、作用体18はX軸上の負方向、作用体19はY軸上の正方向において、それぞれ原点Oから等距離に形成されている。そして、作用体16〜19の上端部は、溶接により、第1部材2と対向している第2部材3のダイヤフラム4の下面に接合されている。
- [0127] なお、第1部材2と作用体16〜19とは別部材であってもよいし、第1部材2と第2部材3と作用体16〜19とを一体切削加工によって形成してもよい。また、第2部材と作用体16〜19とは、ボルトによって連結されてもよい。
- [0128] 図37に示すように、20個の歪みゲージR11〜R45が、第1部材2のダイヤフラム4の下面に配置されている。第2部材2のダイヤフラム4の下面において、作用体16の縁に対応する位置には、歪みゲージR11〜R14が配置されている。歪みゲージR11、R12は、X軸上において、歪みゲージR12の方が歪みゲージR11よりも原点Oに近くなるように配置されている。歪みゲージR13、14は、X軸と作用体16の中心軸とに

直交する軸上において、歪みゲージR13がY軸正方向、歪みゲージR14がY軸負方向に対応するように配置されている。また、ダイヤフラム4の縁において、X軸正方向に対応する位置には、歪みゲージR15が配置されている。

- [0129] 同様に、第2部材2のダイヤフラム4の下面において、作用体17の縁に対応する位置には歪みゲージR21〜R24が配置されており、作用体18の縁に対応する位置には歪みゲージR31〜R34が配置されており、作用体19の縁に対応する位置には歪みゲージR41〜R44が配置されている。また、ダイヤフラム4の縁において、Y軸負方向に対応する部分には歪みゲージR25が配置されており、X軸負方向に対応する位置には歪みゲージR35が配置されており、Y軸正方向に対応する位置には歪みゲージR45が配置されている。
- [0130] なお、歪みゲージR15、R25、R35、R45の配置位置についてはこれに限らず、第1部材2のダイヤフラム4の下面におけるダイヤフラム4の縁部、または作用体16〜19の縁に対応する位置において、原点Oを中心に90度おき、かつ原点Oから等距離の位置であればどこに配置されてもよい。
- [0131] 次に、各成分ごとに力やモーメントを検出する原理を説明する。以下、第1部材2を固定し、第2部材3に力やモーメントが作用するものとする。
- [0132] 図38に、第2部材3に対してX軸方向の力 $F_x$ を加えたときの多軸センサ1の状態を示す。このときは、第1部材2および第2部材3のダイヤフラム4は図示したように変位し、歪みが検出される。このときの歪みゲージR11〜R45の抵抗値の変化を、図39に示す。また、第2部材3に対してY軸方向の力 $F_y$ を加えたときは、X軸方向の力 $F_x$ を加えたときの状態を90度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。また、図40に、第2部材3に対してZ軸方向の力 $F_z$ を加えたときの多軸センサ1の状態を示す。図41に、第2部材3に対してZ軸方向の力 $F_z$ を加えたときの各歪みゲージR11〜R45の抵抗値の変化を示す。
- [0133] 図42に、第2部材3に対してX軸のモーメント $M_x$ を加えたときの多軸センサ1の状態を示す。図43に、このときの各歪みゲージR11〜R45の抵抗値の変化を示す。また、第2部材3に対してY軸のモーメント $M_y$ を加えたときは、X軸のモーメント $M_x$ を加えたときの状態を90度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。また、第2部材



3に対してZ軸のモーメント $M_z$ を加えたときは、第2部材3をZ軸を中心に回転させる。図44に、第2部材3に対してZ軸のモーメント $M_z$ を加えたときの、各歪みゲージR11～R45の抵抗値の変化を示す。

[0134] 表3に上述した各力およびモーメントに対する歪みゲージR11～R45の変化を示す。

[0135] [表3]

力	R11	R12	R13	R14	R15	R21	R22	R23	R24	R25
$F_x$	+	-			-	+	-			
$F_y$			+	-				+	-	+
$F_z$	+				-				+	-
$M_x$								-	-	+
$M_y$	+	+			-					
$M_z$			-	+		-	+			

力	R31	R32	R33	R34	R35	R41	R42	R43	R44	R45
$F_x$	+	-			+	+	-			
$F_y$			+	-				+	-	-
$F_z$		+			-			+		-
$M_x$								+	+	-
$M_y$	-	-			+					
$M_z$			+	-		+	-			

[0136] 以上の性質を利用して、数式14の演算を行うことにより各力およびモーメントを検

出すことができる。なお、演算方法は数式14に限られないのは勿論である。

[0137] [数14]

$$F_x = R_{41} - R_{22}$$

$$F_y = R_{13} - R_{34}$$

$$F_z = R_{15} + R_{25} + R_{35} + R_{45}$$

$$M_x = (R_{43} + R_{44}) - (R_{23} + R_{24})$$

$$M_y = (R_{11} + R_{12}) - (R_{31} + R_{32})$$

$$M_z = (R_{14} + R_{33}) - (R_{21} + R_{42})$$

[0138] 上述の演算は、図45のようにブリッジ回路を構成し、定電圧や定電流を印加して力およびモーメントを検出すれば、効率良く行うことができる。図45では定電圧を印加した場合を示している。ここで、図45に示すように、 $F_x$ および $F_y$ を検出する回路は、温度変化によって生じる出力値の誤差を補償することができないハーフブリッジとなっている。したがって、図46に示すようなダミー回路をさらに設け、その出力電圧 $V_1$ との差を演算している。これにより、周囲温度の変化によるドリフトや同相ノイズが打ち消し合い、安定して出力が得られる。なお、図46の歪みゲージ $R_{d1}$ 、 $R_{d2}$ は、固定部8のように、多軸センサ1に対して負荷が加えられた場合に歪みが殆ど生じない位置に配置されている。

[0139] また、 $F_z$ を検出するブリッジ回路に含まれる抵抗 $R_a$ 、 $R_b$ は、いずれも回路上のダミーの固定抵抗である。そして、抵抗 $R_a$ 、 $R_b$ の抵抗値は、 $R_a = (R_{15} + R_{25})$ 、 $R_b = (R_{35} + R_{45})$ であるのが好ましい。

[0140] 以上のように、本実施の形態の多軸センサ1では、第1部材2と第2部材3とに、それぞれ1つのダイヤフラム4が設けられる。したがって、第1部材2と第2部材3とに複数のダイヤフラムを設ける場合と比べて、多軸センサ1を小型化することが可能となる。また、多軸センサの形状が簡素化するので、切削加工に要するコストを低減することができる。

[0141] また、本実施の形態の多軸センサ1では、第1部材2に複数のダイヤフラムを設ける場合と比べて、少ない歪みゲージで多軸の力およびモーメントを計測することができ

る。したがって、歪みゲージのコストおよび配線のコストを削減することができる。

[0142] 次に、本発明の第10の実施の形態について、図47を参照して説明する。図47は、第10の実施の形態による多軸センサ1を第2部材3側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージR11〜R35の配置を描いた平面図である。本実施の形態の多軸センサ1は、第1の実施の形態の多軸センサ1と同様に3次元空間の直交する3軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための6軸力覚センサである。本実施の形態の多軸センサ1の構成が、第1の実施の形態の多軸センサ1と主に異なる点は、第1の実施の形態では、第1部材2および第2部材3は4つのダイヤフラム4、5、6、7をそれぞれ備えているが、本実施の形態の第1部材2および第2部材3は、1つのダイヤフラム4を備えている点である。

[0143] 本実施の形態の多軸センサ1は、第1部材2と、第2部材3と、作用体16〜18とを有している。第1部材2と第2部材3とは、第1部材2の上面と第2部材3の下面とが対向するように配置されている。そして、第1部材2と第2部材3とは、作用体16〜18によって連結されている。

[0144] 第1部材2および第2部材3にそれぞれ備えられているダイヤフラム4は、互いに等しい径を有する円形状であると共に、その縁近傍には円環状の肉厚部24が形成されている。また、第1部材2のダイヤフラム4の上面には、円柱形状の3つの作用体16〜18が形成されている。作用体16は原点Oを通りY軸負方向からX軸正方向に120度をなす線分CO上、作用体17はY軸上の負方向、作用体18は原点Oを通りY軸負方向からX軸負方向に120度をなす線分DO上において、それぞれ原点Oから等距離に形成されている。そして、作用体16〜18の上端部は、溶接により、第1部材2と対向している第2部材3のダイヤフラム4の下面に接合されている。

[0145] 図47に示すように、15個の歪みゲージR11〜R35が、第1部材2のダイヤフラム4の下面に配置されている。第2部材2のダイヤフラム4の下面において、作用体16の縁に対応する位置には歪みゲージR11〜R14が、作用体17の縁に対応する位置には歪みゲージR21〜R24が、作用体18の縁に対応する位置には歪みゲージR31〜R34が、ダイヤフラム4の縁部には歪みゲージR15、R25、R35がそれぞれ配置されている。

- [0146] 次に、各軸方向ごとに力とモーメントを検出する原理を説明する。直線上に配置された複数の歪みゲージから成る歪みゲージ群は、配置された列方向に引っ張りや圧縮の歪みを加えた場合、最も歪みに対する抵抗値の変化の率が大きくなり感度が高くなる。本実施の形態の、歪みゲージR11、R12、歪みゲージR13、R14、歪みゲージR21、R22、歪みゲージR23、R24、歪みゲージR31、R32、歪みゲージR33、R34からなる6個の歪みゲージ群は、それぞれ最も感度が大きくなる方向が異なる。しかし、各歪みゲージ群の感度をX、Y、Z軸方向のベクトルに分解して考えれば6軸成分の力やモーメントを検出することができる。
- [0147] 図47に示す歪みゲージR11〜R33に対して図48に示すブリッジ回路を構成し、定電圧または定電流を加える。ここで、図48のブリッジ回路に含まれる抵抗 $R_a$ 〜 $R_o$ は、いずれも回路上のダミーの固定抵抗である。なお、各抵抗 $R_a$ 〜 $R_o$ の抵抗値は、各歪みゲージR11〜R33の抵抗値とほぼ等しいことが好ましい。
- [0148] 図48のフルブリッジ回路により、歪みゲージR11、R12でX軸正方向からY軸正方向に30度方向の力成分を電圧 $V_a$ として検出でき、歪みゲージR13、R14でX軸正方向からY軸負方向に60度方向の力成分を電圧 $V_b$ として検出でき、歪みゲージR21、R22でX軸正方向からY軸正方向に180度方向の力成分を電圧 $V_c$ として検出でき、歪みゲージR23、R24でX軸正方向からY軸負方向に90度方向の力成分を電圧 $V_d$ として検出でき、歪みゲージR31、R32でX軸正方向からY軸正方向に150度方向の力成分を電圧 $V_e$ として検出でき、歪みゲージR33、R34でX軸正方向からY軸負方向に120度方向の力成分を電圧 $V_f$ として検出できる。また、図48のハーフブリッジ回路により、歪みゲージR15で作用体16の中心のZ軸方向の力成分を電圧 $V_{z1}$ として検出でき、歪みゲージR25で作用体17の中心のZ軸方向の力成分を電圧 $V_{z2}$ として検出でき、歪みゲージR35で作用体18の中心のZ軸方向の力成分を電圧 $V_{z1}$ として検出できる。
- [0149] ここで、フルブリッジ回路からの出力電圧 $V_a$ 〜 $V_f$ を、X軸及びY軸成分のベクトルにそれぞれ分解すると数式15のように表すことができる。
- [0150] [数15]

$$\begin{aligned}
 V_a &= (V_{ax}, V_{ay}) = (V_a/2, V_a \cdot \sqrt{3}/2) \\
 V_b &= (V_{bx}, V_{by}) = (V_b \cdot \sqrt{3}/2, -V_b/2) \\
 V_c &= (V_{cx}, V_{cy}) = (V_c, 0) \\
 V_d &= (V_{dx}, V_{dy}) = (0, V_d) \\
 V_e &= (V_{ex}, V_{ey}) = (V_e/2, -V_e \cdot \sqrt{3}/2) \\
 V_f &= (V_{fx}, V_{fy}) = (V_f \cdot \sqrt{3}/2, V_f/2)
 \end{aligned}$$

[0151] したがって、第2部材3に作用するX軸方向の合力を $F_x$ 、Y軸方向の合力を $F_y$ とすると、数式16のように検出することができる。

[0152] [数16]

$$\begin{aligned}
 F_x &= V_{ax} + V_{bx} + V_{cx} + V_{dx} + V_{ex} + V_{fx} \\
 &= (V_a/2) + (V_b \cdot \sqrt{3}/2) + V_c + (V_e/2) + (V_f \cdot \sqrt{3}/2) \\
 F_y &= V_{ay} + V_{by} + V_{cy} + V_{dy} + V_{ey} + V_{fy} \\
 &= (V_a \cdot \sqrt{3}/2) - (V_b/2) + V_d - (V_e \cdot \sqrt{3}/2) + (V_f/2)
 \end{aligned}$$

[0153] また、ハーフブリッジ回路の出力電圧 $V_{z1}$ 、 $V_{z2}$ 、 $V_{z3}$ はZ軸方向の力 $F_z$ に応じて変化する。したがって、力 $F_z$ については、数式17によって求めることができる。

[0154] [数17]

$$F_z = V_{z1} + V_{z2} + V_{z3}$$

[0155] 次に、第2部材3にモーメント $M_x$ を加えた場合、X軸を中心に回転する力が加えられる。ここでは、Y軸正の部分をZ軸負方向からZ軸正方向に向けて押すと共に、Y軸負の部分をZ軸正方向からZ軸負方向に向けて引っ張るようにモーメント $M_x$ が働くとする。また、原点Oから作用体16〜18の中心までの距離を $R$ とすると、作用体16、18のそれぞれの中心からX軸までの距離は $R/2$ となり、作用体17の中心からX軸までの距離は $R$ となる。したがって、各作用体16〜18の中心に働く力の方向を考慮すると、X軸回りのモーメント $M_x$ は数式18で表される。

[0156] [数18]

$$M_x = (F_{z1} \cdot R/2) - (F_{z2} \cdot R) + (F_{z3} \cdot R/2)$$

[0157] 次に、第2部材3に対して、X軸正の部分>Z軸正方向からZ軸負方向に向けて押すと共に、X軸負の部分>Z軸負方向からZ軸正方向に向けて引っ張るようにモーメント $M_y$ を加えた場合について考える。ここで、作用体16、18の中心からY軸までの距離は $\sqrt{3}R/2$ であり、作用体17の中心はY軸上にある。したがって、各作用体16～18の中心に働く力の方向を考慮すると、Y軸回りのモーメント $M_y$ は数式19で表される。

[0158] [数19]

$$\begin{aligned} M_y &= (F_{z1} \cdot \sqrt{3}R/2) + F_{z2} \cdot 0 - (F_{z3} \cdot \sqrt{3}R/2) \\ &= \sqrt{3}/2 (F_{z1} - F_{z3}) \end{aligned}$$

[0159] 次に、第2部材3に対して、Z軸右回りのモーメント $M_z$ を加えた場合について考える。このとき、歪みゲージR13、R14、R21、R22、R33、R34で構成される3つの歪みゲージ群は最も感度の高い方向に歪みが発生する。したがって、図48の回路の出力電圧 $V_b$ 、 $V_c$ 、 $V_f$ が最も高感度に変化する。一方、歪みゲージR11、R12、R23、R24、R31、R32で構成される3つの歪みゲージ群は歪みゲージの感度が最も低くなる配列方向である。したがって、図48の回路の出力電圧 $V_a$ 、 $V_d$ 、 $V_e$ はほとんど変化しない。よって、各作用体16～18の中心に働く力の方向を考慮すると、モーメント $M_z$ は数式20で表される。

[0160] [数20]

$$M_z = -V_b + V_c - V_f$$

[0161] 以上に示す数式15～数式20を利用して演算を行うことにより、力やモーメントを求めることができる、例えば出力電圧 $V_a$ ～ $V_f$ 及び $V_{z1}$ ～ $V_{z3}$ をAD変換してマイクロコントローラやコンピュータを利用して演算してもよい。

[0162] 以上のように、本実施の形態の多軸センサ1では、第9の実施の形態と同様の効果

を得ることができる。また、ダイヤフラムに3つの作用体を形成することで、多軸の力およびモーメントを算出することができるので、多軸センサ1の構成を更に簡易化することができる。

[0163] 以上、本発明の好適な実施の形態について説明したが、本発明は上述の実施の形態に限られるものではなく、特許請求の範囲に記載した限りにおいて様々な設計変更が可能なものである。例えば、上述の第1〜第10の実施の形態では、歪みゲージを第1部材2に対して個別に貼り付けているが、これには限られず全ての歪みゲージが一平面に貼り付けられることを利用して、歪みゲージをダイヤフラム4〜7ごとに1枚のベース板に集積してダイヤフラム4〜7に貼り付けるようにしてもよい。あるいは全ての歪みゲージを1枚のベース板に集積して貼り付けてもよい。また、歪みゲージや回路を形成する導電性の配線は、ダイヤフラム4〜7にスパッタリングや蒸着により薄い絶縁膜を形成し、その上にスパッタリングや蒸着により形成された酸化クロム薄膜であってもよい。このようにして形成された歪みゲージは、一般的な箔歪みゲージに比べてゲージ率が10倍以上大きいので、一般的な箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を10倍以上大きくすることができる。また、歪みゲージをダイヤフラム4〜7に貼り付ける作業工程が簡易化され、作業効率が高まって生産性が飛躍的に向上してコストの低減を図ることができる。

[0164] また、上述の第1〜第10の実施の形態では、6軸の力およびモーメント、あるいは加速度および角加速度を検出する多軸センサについて説明しているが、これに限らず例えばX軸とY軸との2方向の力だけを検出する2軸センサとして使用してもよい。

[0165] また、上述の第1〜第10の実施の形態ではダイヤフラムを等角度ごとに配置しているがこれには限られない。さらに、ダイヤフラムは原点Oから等距離に配置することにも限られない。

[0166] また、上述の第9および第10の実施の形態では作用体を等角度ごとに配置しているがこれには限られない。さらに、作用体は原点Oから等距離に配置することにも限られない

。

産業上の利用可能性

- [0167] 本発明は、外部から作用する直交する3軸方向の力とその軸の回転方向のモーメントの計6成分のうちの少なくとも1つの成分の方向と大きさを測定できる多軸センサとして最適である。従って、例えばアミューズメントの分野での実用化が期待されているヒューマノイドロボットにおいて、本発明の多軸センサをヒューマノイドロボットの手や足に組み込めば、ヒューマノイドロボットの手や足に作用する力やモーメントを高い応答性で精度良く検出することが、従来のセンサより低コストで可能となる。

#### 図面の簡単な説明

- [0168] [図1A]本発明の第1の実施の形態による多軸センサを描いた図であり、第2部材側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。
- [図1B]本発明の第1の実施の形態による多軸センサを描いた図であり、中央縦断面正面図である。
- [図2]直交座標軸を示す斜視図である。
- [図3]多軸センサに力 $F_x$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。
- [図4]多軸センサに力 $F_x$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- [図5]多軸センサに力 $F_z$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。
- [図6]多軸センサに力 $F_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- [図7]多軸センサにモーメント $M_x$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。
- [図8]多軸センサにモーメント $M_x$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- [図9]多軸センサにモーメント $M_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- [図10]多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。
- [図11]第2の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。
- [図12]第3の実施の形態によるブリッジ回路の一例を示す回路図である。
- [図13]第4の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。



[図14]第4の実施の形態による多軸センサのアンプ回路および判断手順を示すブロック図である。

[図15]第5の実施の形態による多軸センサの第2部材側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。

[図16]多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。

[図17]多軸センサに力 $F_y$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図18]多軸センサに力 $F_z$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図19]多軸センサに力 $F_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図20]多軸センサにモーメント $M_x$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図21]多軸センサにモーメント $M_z$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図22]多軸センサにモーメント $M_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図23]第6の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。

[図24]第6の実施の形態による多軸センサをZ軸の逆方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。

[図25]多軸センサに加速度 $a_x$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図26]多軸センサに加速度 $a_x$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図27]多軸センサに加速度 $a_z$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図28]多軸センサに加速度 $a_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図29]多軸センサに角加速度 $\alpha_y$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図30]多軸センサに角加速度 $\alpha_y$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図31]多軸センサに角加速度  $\alpha_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図32]多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。

[図33]第7の実施の形態によるブリッジ回路の一例を示す回路図である。

[図34]第8の実施の形態による多軸センサを示す平面図である。

[図35]第8の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。

[図36]第9の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。

[図37]第9の実施の形態による多軸センサの第2部材側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。

[図38]多軸センサに力  $F_x$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図39]多軸センサに力  $F_x$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図40]多軸センサに力  $F_z$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図41]多軸センサに力  $F_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図42]多軸センサに力  $M_x$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

[図43]多軸センサに力  $M_x$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図44]多軸センサに力  $M_z$ を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

[図45]多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。

[図46]多軸センサのダミー回路の一例を示す回路図である。

[図47]第10の実施の形態による多軸センサの第2部材側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。

[図48]第10の実施の形態によるブリッジ回路の一例を示す回路図である。

[図49]従来の多軸センサを描いた斜視図である。

## 符号の説明

[0169] 1 多軸センサ

- 2 第1部材
- 3 第2部材
- 4, 5, 6, 7 ダイアフラム
- 8 中心軸
- 10 ピエゾ抵抗素子
- 16, 17, 18, 19 作用体
- R11〜R48, R111〜R148 歪みゲージ

## 請求の範囲

- [1] 外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角加速度のいずれか1つまたは複数を計測する多軸センサにおいて、  
一平面上に配置された複数の歪みゲージを備えていることを特徴とする多軸センサ。
- [2] 複数の前記歪みゲージが取り付けられる第1のダイヤフラムをさらに備えていることを特徴とする請求項1に記載の多軸センサ。
- [3] 前記第1のダイヤフラムは前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離に配置されていることを特徴とする請求項2に記載の多軸センサ。
- [4] 前記角度は90度であることを特徴とする請求項3に記載の多軸センサ。
- [5] 前記第1のダイヤフラムは、前記中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ配置されていることを特徴とする請求項4に記載の多軸センサ。
- [6] 前記角度は120度であることを特徴とする請求項3に記載の多軸センサ。
- [7] 前記第1のダイヤフラムの薄肉部は円環形状で8個の前記歪みゲージを備えていると共に、  
前記歪みゲージの配置位置は、前記第1のダイヤフラムの中心点と前記平面の中心点とを結ぶ線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部、および前記第1のダイヤフラムの中心点における前記線の垂直線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部であることを特徴とする請求項2〜6のいずれか1項に記載の多軸センサ。
- [8] 前記第1のダイヤフラムの中央部に設けられた作用体をさらに備えると共に、  
該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を計測することを特徴とする請求項2〜7のいずれか1項に記載の多軸センサ。
- [9] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、  
前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを有する第2部材と、  
対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを

備えると共に、

前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測することを特徴とする請求項2〜7のいずれか1項に記載の多軸センサ。

[10] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、

前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、一平面上に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部材と、

対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えると共に、

前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測することを特徴とする請求項2〜7のいずれか1項に記載の多軸センサ。

[11] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることを特徴とする請求項10に記載の多軸センサ。

[12] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することを特徴とする請求項11に記載の多軸センサ。

[13] 前記平面に配置される前記第1のダイヤフラムは1つであることを特徴とする請求項2に記載の多軸センサ。

[14] 前記平面の中心点を中心に対等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置において、前記第1のダイヤフラムと当接するように設けられた作用体をさらに有しており、該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を測定することを特徴とする請求項13に記載の多軸センサ。

[15] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、  
前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを1つ有する第2部材と、  
前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、

前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると

共に、

前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとのそれぞれの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定することを特徴とする請求項13に記載の多軸センサ。

- [16] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、  
一平面に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部材と、  
前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、

前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、

前記第1及び第2のダイヤフラムの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定することを特徴とする請求項13に記載の多軸センサ。

- [17] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることを特徴とする請求項16に記載の多軸センサ。

- [18] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することを特徴とする請求項17に記載の多軸センサ。

- [19] 前記角度は90度であることを特徴とする請求項14～18のいずれか1項に記載の多軸センサ。

- [20] 前記作用体は、前記第1のダイヤフラムの中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項19に記載の多軸センサ。

- [21] 前記角度は120度であることを特徴とする請求項14ー18のいずれか1項に記載の多軸センサ。
- [22] 前記歪みゲージの配置位置は、  
前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点と前記第1のダイヤフラムの中心点とを結ぶ線上における前記作用体の縁部と、  
前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点における前記線の垂直線上において前記作用体の縁部と、  
前記第1のダイヤフラムの中心点から等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置であって前記作用体の縁部および前記第1のダイヤフラムの縁部のいずれか一方とであることを特徴とする請求項14ー21のいずれか1項に記載の多軸センサ。
- [23] 前記歪みゲージはピエゾ抵抗素子であることを特徴とする請求項1ー22のいずれか1項に記載の多軸センサ。
- [24] 前記歪みゲージは絶縁膜上に酸化クロム薄膜で形成した歪みゲージであることを特徴とする請求項1ー22のいずれか1項に記載の多軸センサ。

## 補正書の請求の範囲

[2004年11月17日(17.11.2004)国際事務局受理:出願当初の請求の範囲1-24は補正された;他の請求の範囲は変更なし。(4頁)]

- [1] 外部から加わった6軸の力およびモーメント、または、6軸の加速度および角加速度を計測する6軸センサにおいて、  
一平面上に配置された複数の歪みゲージを備えていることを特徴とする6軸センサ。
- [2] 複数の前記歪みゲージが取り付けられる第1のダイヤフラムをさらに備えていることを特徴とする請求項1に記載の6軸センサ。
- [3] 前記第1のダイヤフラムは前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離に配置されていることを特徴とする請求項2に記載の6軸センサ。
- [4] 前記角度は90度であることを特徴とする請求項3に記載の6軸センサ。
- [5] 前記第1のダイヤフラムは、前記中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ配置されていることを特徴とする請求項4に記載の6軸センサ。
- [6] 前記角度は120度であることを特徴とする請求項3に記載の6軸センサ。
- [7] 前記第1のダイヤフラムの薄肉部は円環形状で8個の前記歪みゲージを備えていると共に、  
前記歪みゲージの配置位置は、前記第1のダイヤフラムの中心点と前記平面の中心点とを結ぶ線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部、および前記第1のダイヤフラムの中心点における前記線の垂直線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部であることを特徴とする請求項2~6のいずれか1項に記載の6軸センサ。
- [8] 前記第1のダイヤフラムの中央部に設けられた作用体をさらに備えると共に、  
該6軸センサに作用する6軸の加速度および角加速度を計測することを特徴とする請求項2~7のいずれか1項に記載の6軸センサ。
- [9] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、  
前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを有する第2部材と、  
対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを



備えと共に、

前記第1部材と前記第2部材との間に作用する6軸の力およびモーメントを計測することを特徴とする請求項2～7のいずれか1項に記載の6軸センサ。

[10] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、

前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、一平面上に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部材と、

対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えと共に、

前記第1部材と前記第2部材との間に作用する6軸の力およびモーメントを計測することを特徴とする請求項2～7のいずれか1項に記載の6軸センサ。

[11] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、6軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることを特徴とする請求項10に記載の6軸センサ。

[12] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することを特徴とする請求項11に記載の6軸センサ。

[13] 前記平面に配置される前記第1のダイヤフラムは1つであることを特徴とする請求項2に記載の6軸センサ。

[14] 前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置において、前記第1のダイヤフラムと当接するように設けられた作用体をさらに有しており、該6軸センサに作用する6軸の加速度および角加速度を測定することを特徴とする請求項13に記載の6軸センサ。

[15] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、  
前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを1つ有する第2部材と、  
前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、

前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると

共に、

前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとのそれぞれの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する6軸の力およびモーメントを測定することを特徴とする請求項13に記載の6軸センサ。

- [16] 前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、  
一平面に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部材と、  
前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、

前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、

前記第1及び第2のダイヤフラムの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する6軸の力およびモーメントを測定することを特徴とする請求項13に記載の6軸センサ。

- [17] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、6軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることを特徴とする請求項16に記載の6軸センサ。

- [18] 前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することを特徴とする請求項17に記載の6軸センサ。

- [19] 前記角度は90度であることを特徴とする請求項14～18のいずれか1項に記載の6軸センサ。

- [20] 前記作用体は、前記第1のダイヤフラムの中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項19に記載の6軸センサ。

- [21] 前記角度は120度であることを特徴とする請求項14～18のいずれか1項に記載の6軸センサ。
- [22] 前記歪みゲージの配置位置は、  
前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点と前記第1のダイヤフラムの中心点とを結ぶ線上における前記作用体の縁部と、  
前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点における前記線の垂直線上において前記作用体の縁部と、  
前記第1のダイヤフラムの中心点から等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置であって前記作用体の縁部および前記第1のダイヤフラムの縁部のいずれか一方とであることを特徴とする請求項14～21のいずれか1項に記載の6軸センサ。
- [23] 前記歪みゲージはピエゾ抵抗素子であることを特徴とする請求項1～22のいずれか1項に記載の6軸センサ。
- [24] 前記歪みゲージは絶縁膜上に酸化クロム薄膜で形成した歪みゲージであることを特徴とする請求項1～22のいずれか1項に記載の6軸センサ。

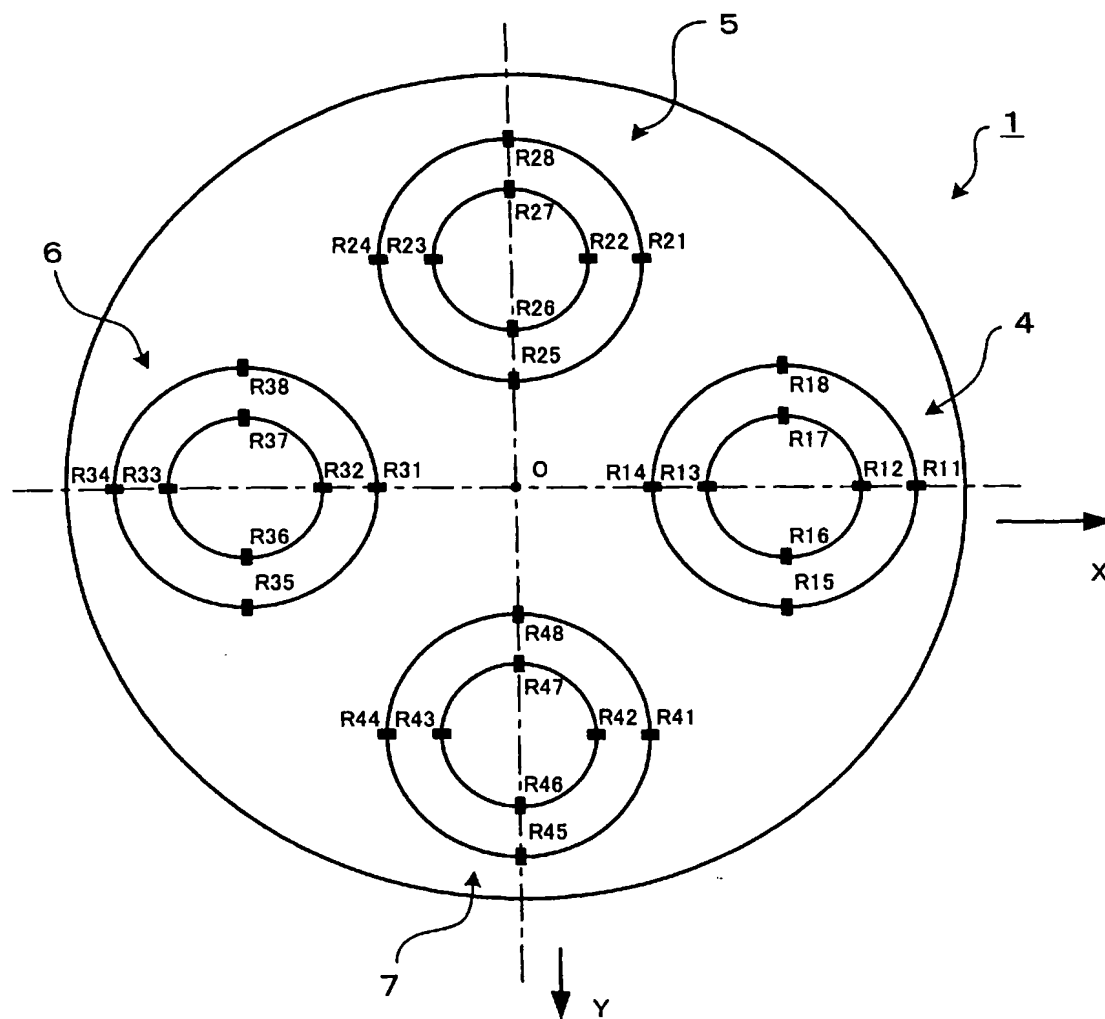
## 条約第19条(1)に基づく説明書

請求の範囲第1項～第24項の発明は、6軸センサに関する発明であることを明確にしました。

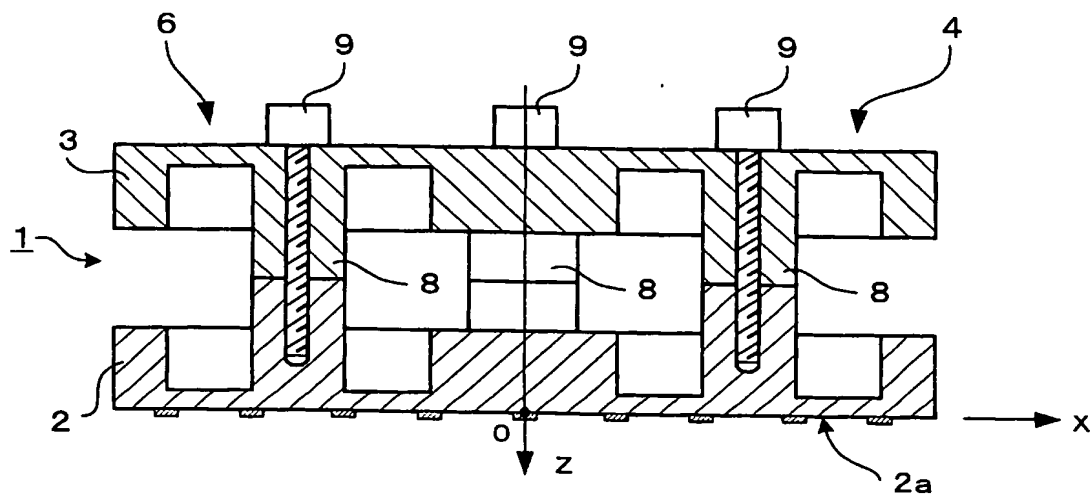
文献1(JP 2581820 B2)、文献2(JP 7-174786 A)及び文献3(JP 54-9074 B2)には、3軸の力または加速度を計測可能な3軸センサが記載されています。

6軸の力及びモーメント、または、6軸の加速度及び各加速度を計測可能である6軸センサに関する本願発明は、上記いずれの文献にも記載されておらず、当業者にとって自明なものでもありません。

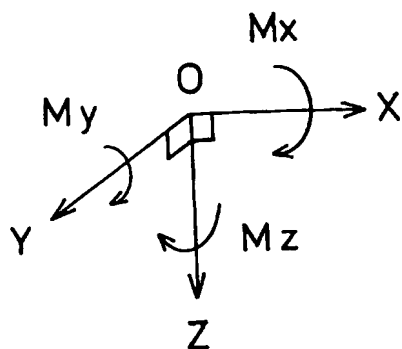
[図1A]



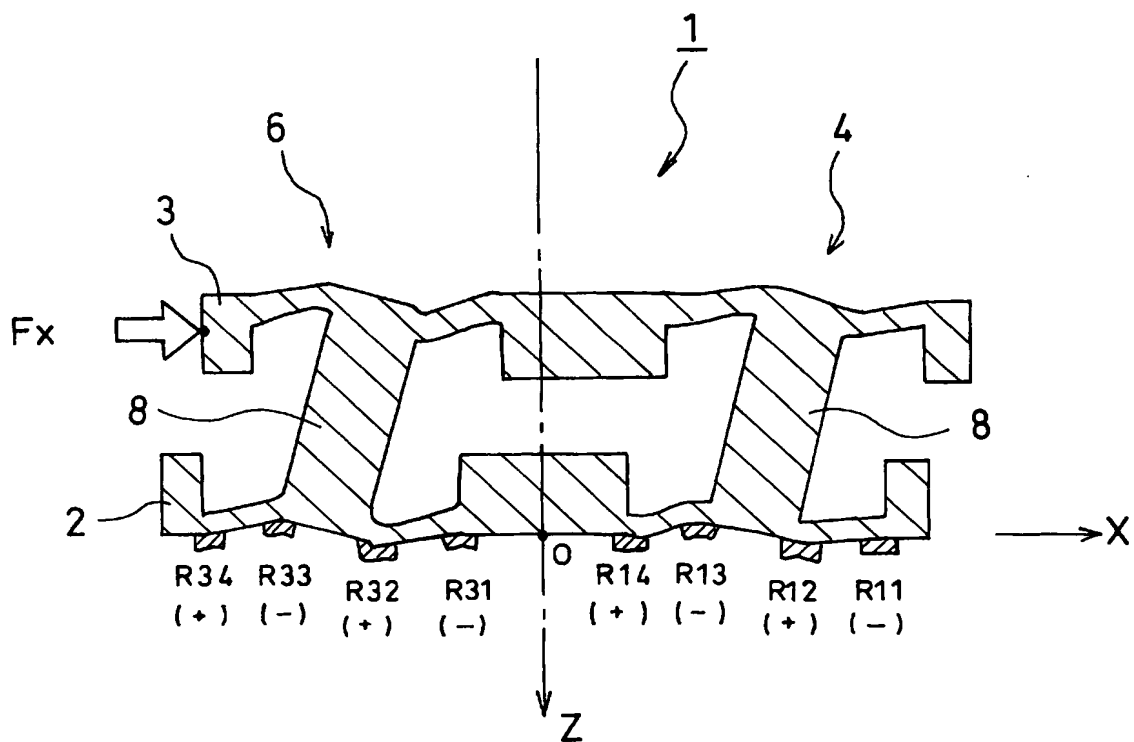
[図1B]



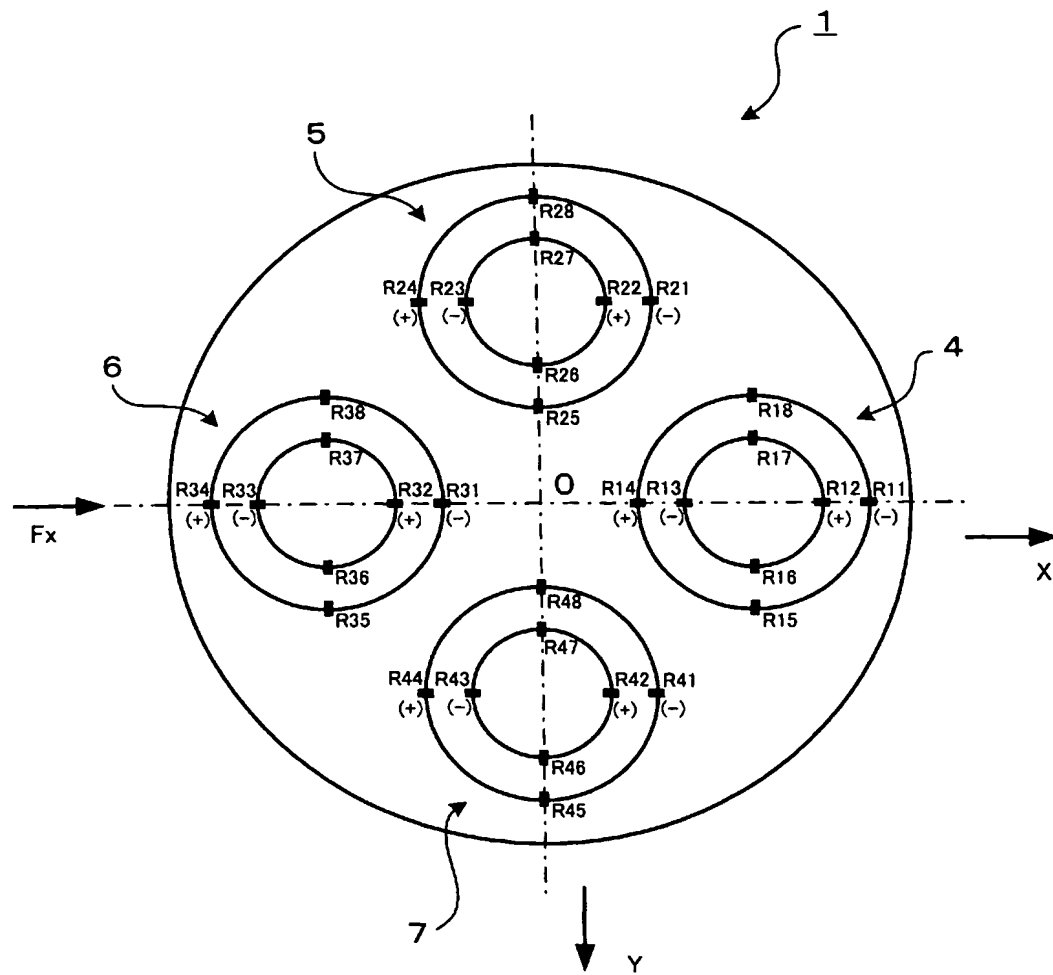
[図2]



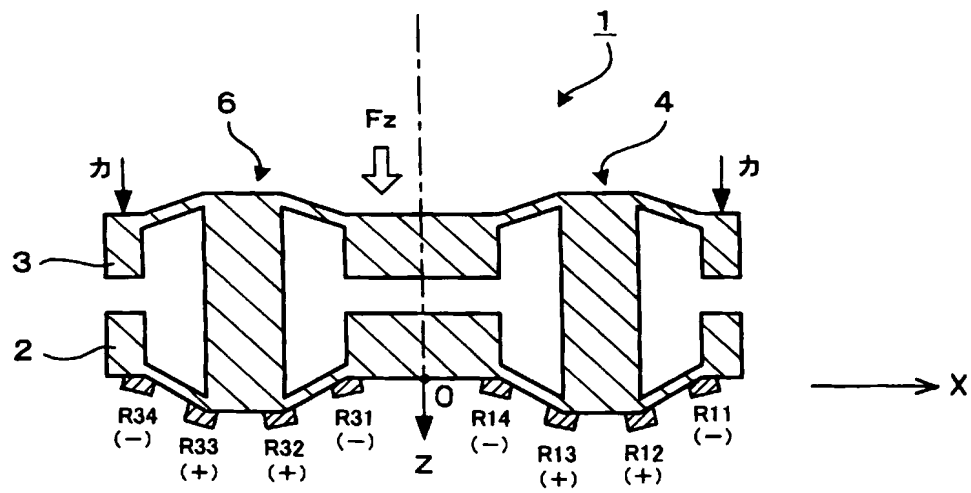
[図3]



[図4]

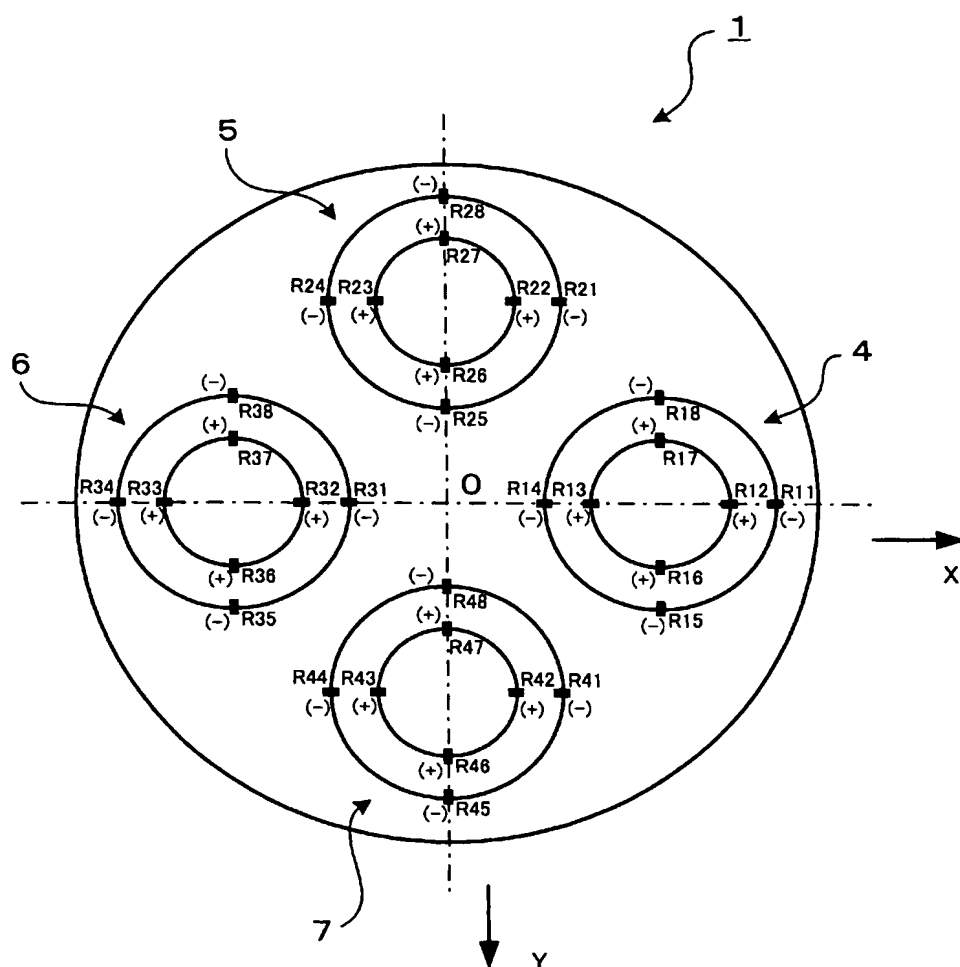


[図5]

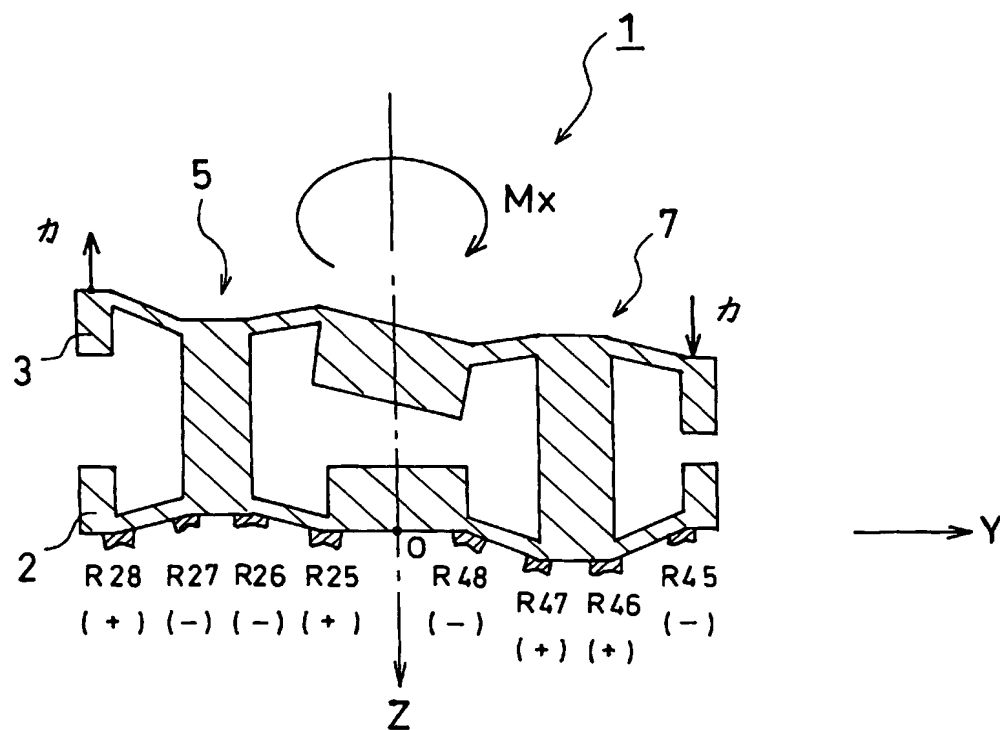




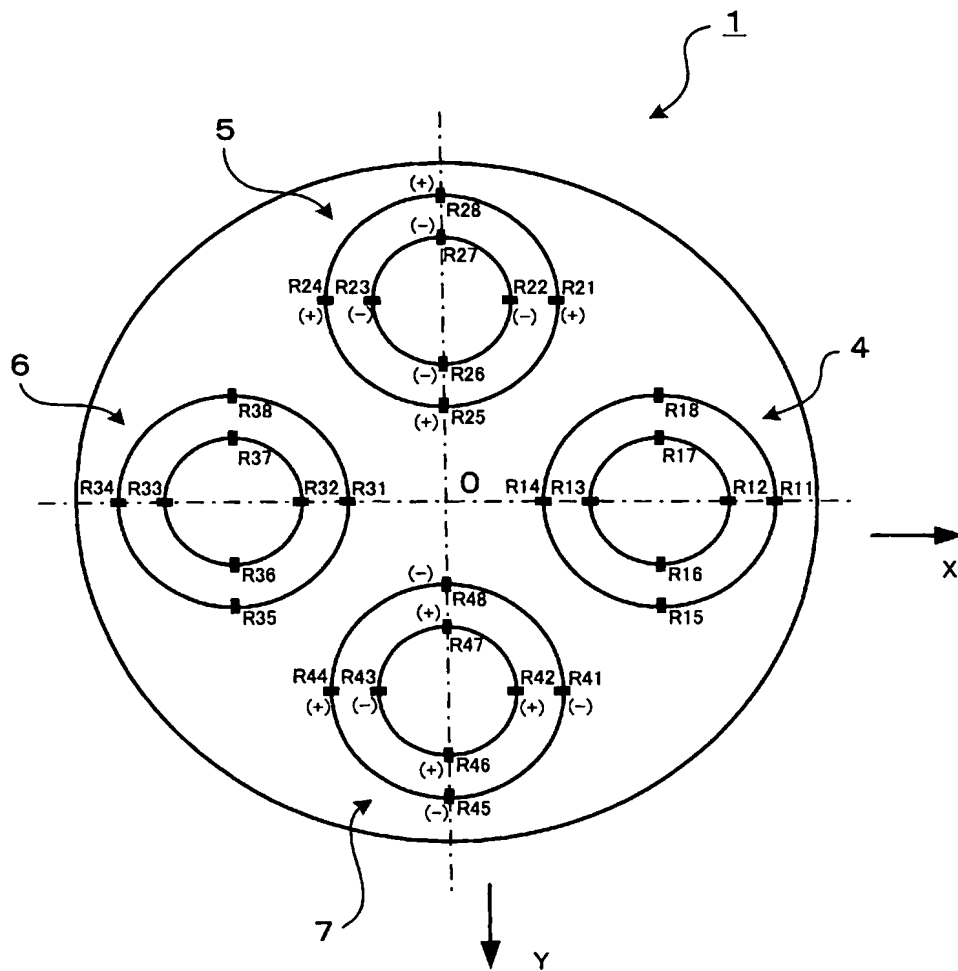
[図6]



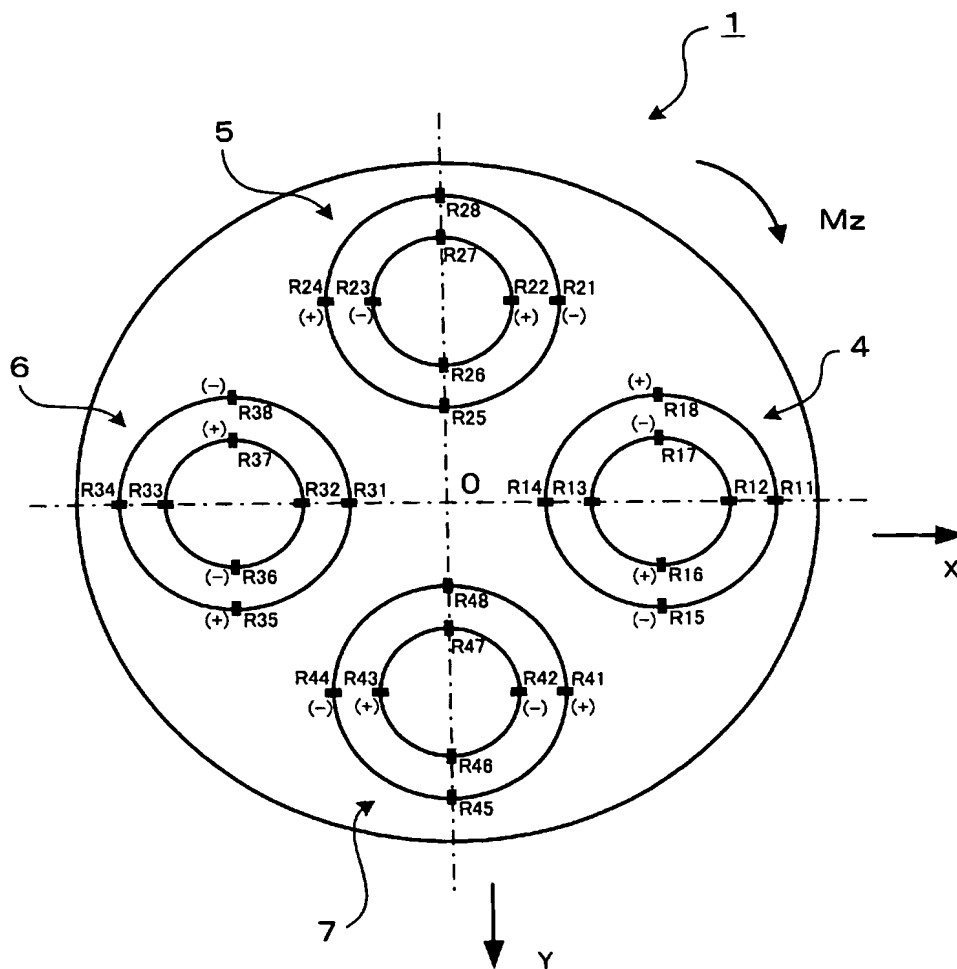
[図7]



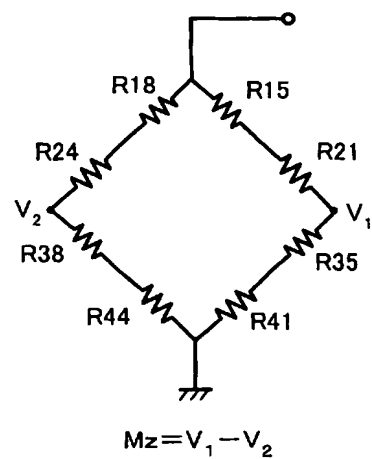
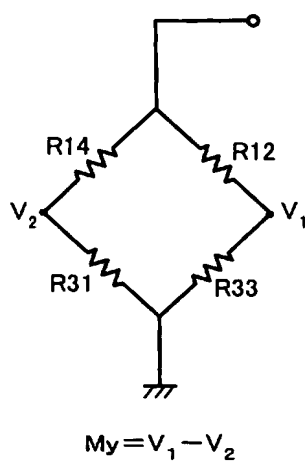
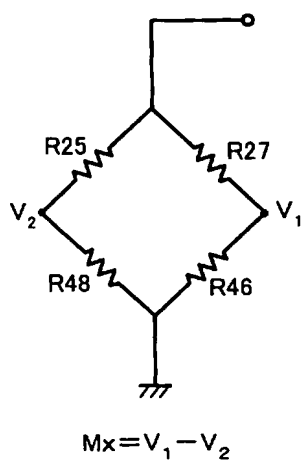
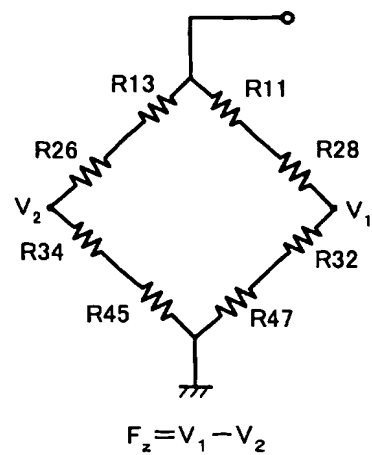
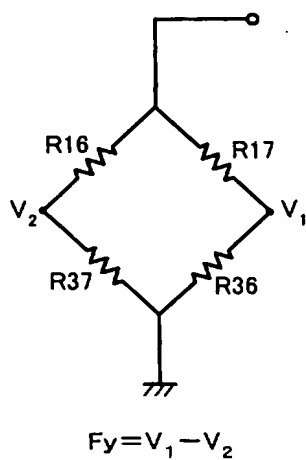
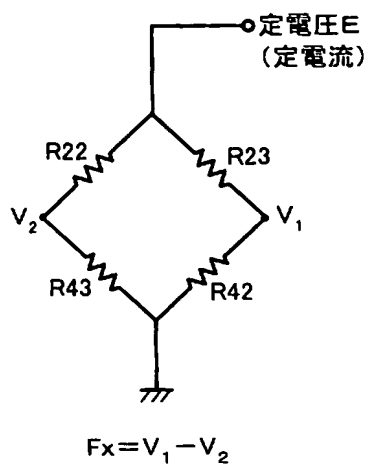
[図8]



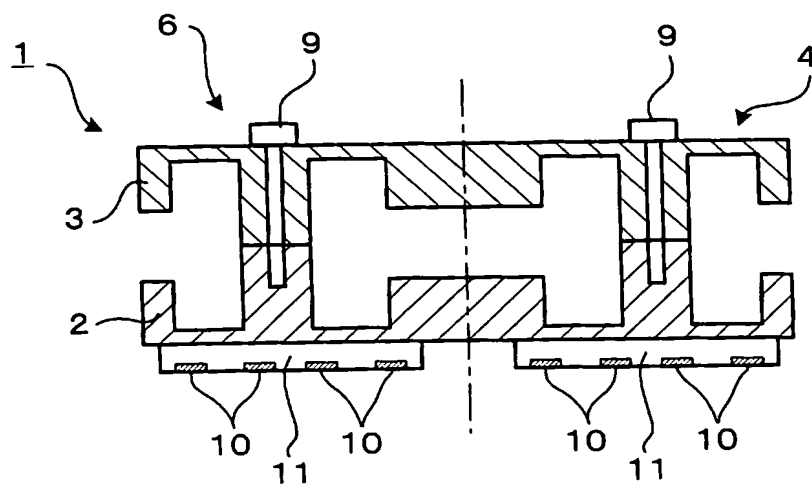
[図9]



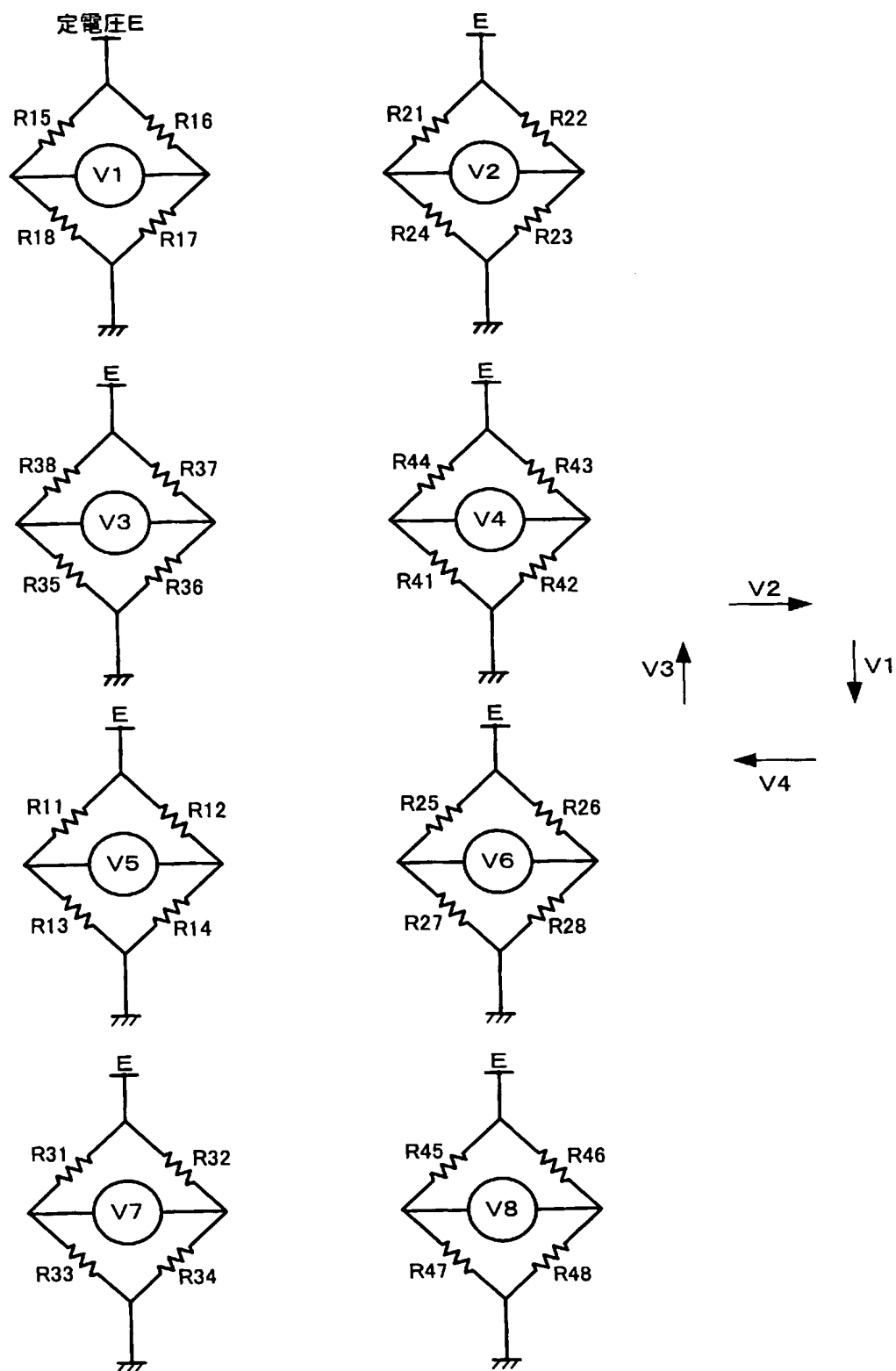
[図10]



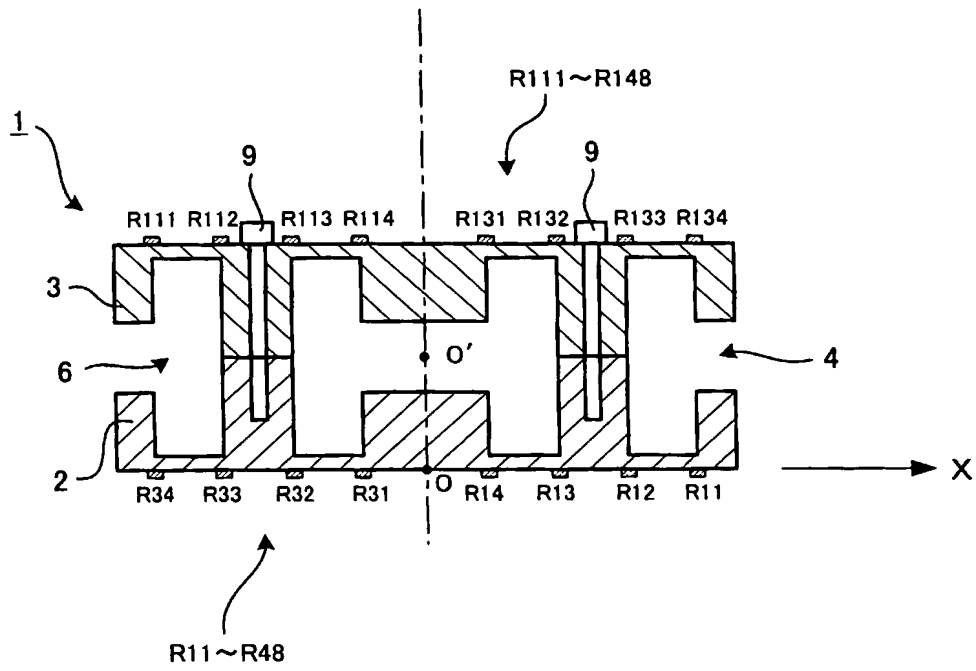
[図11]



[図12]

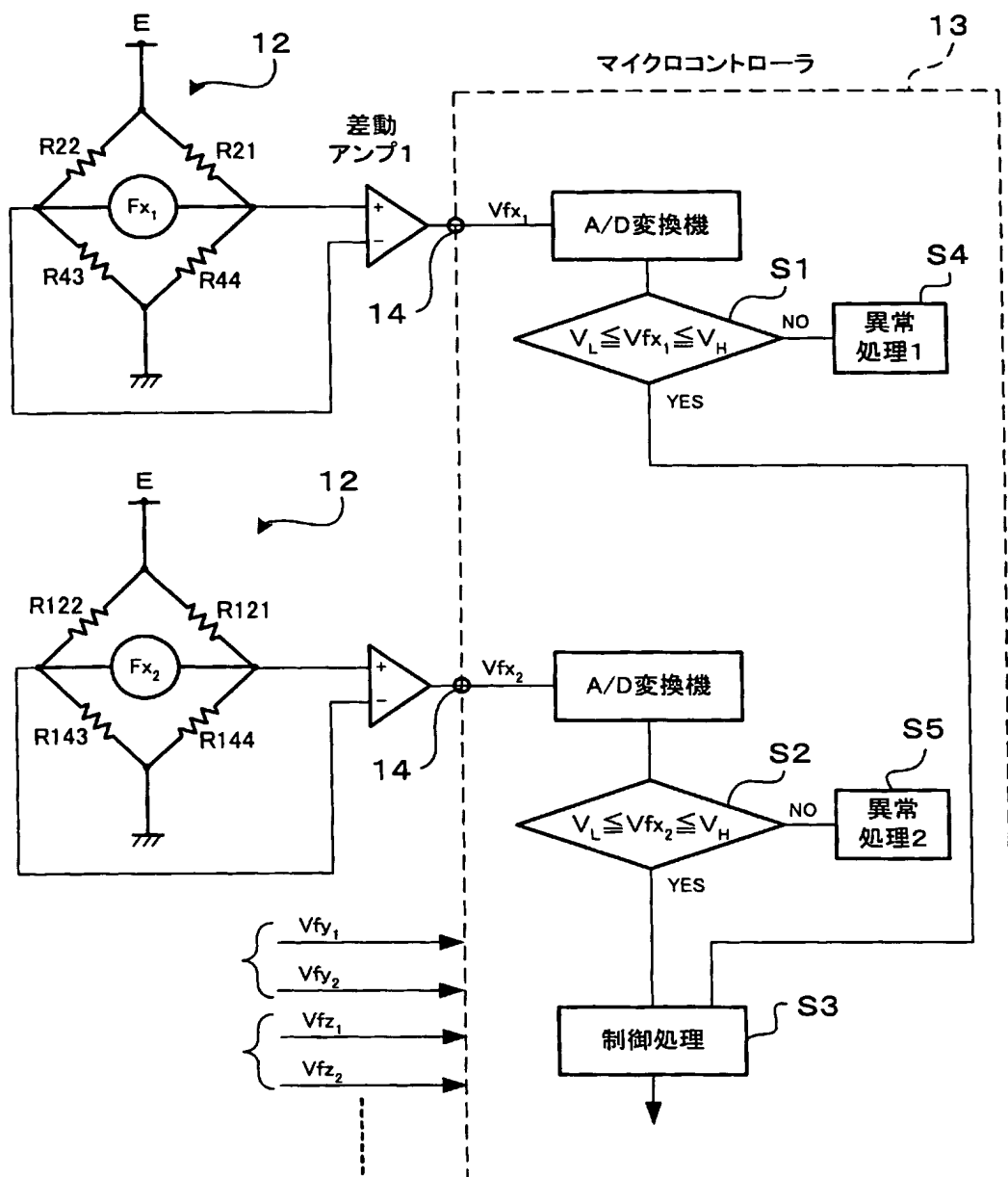


[図13]

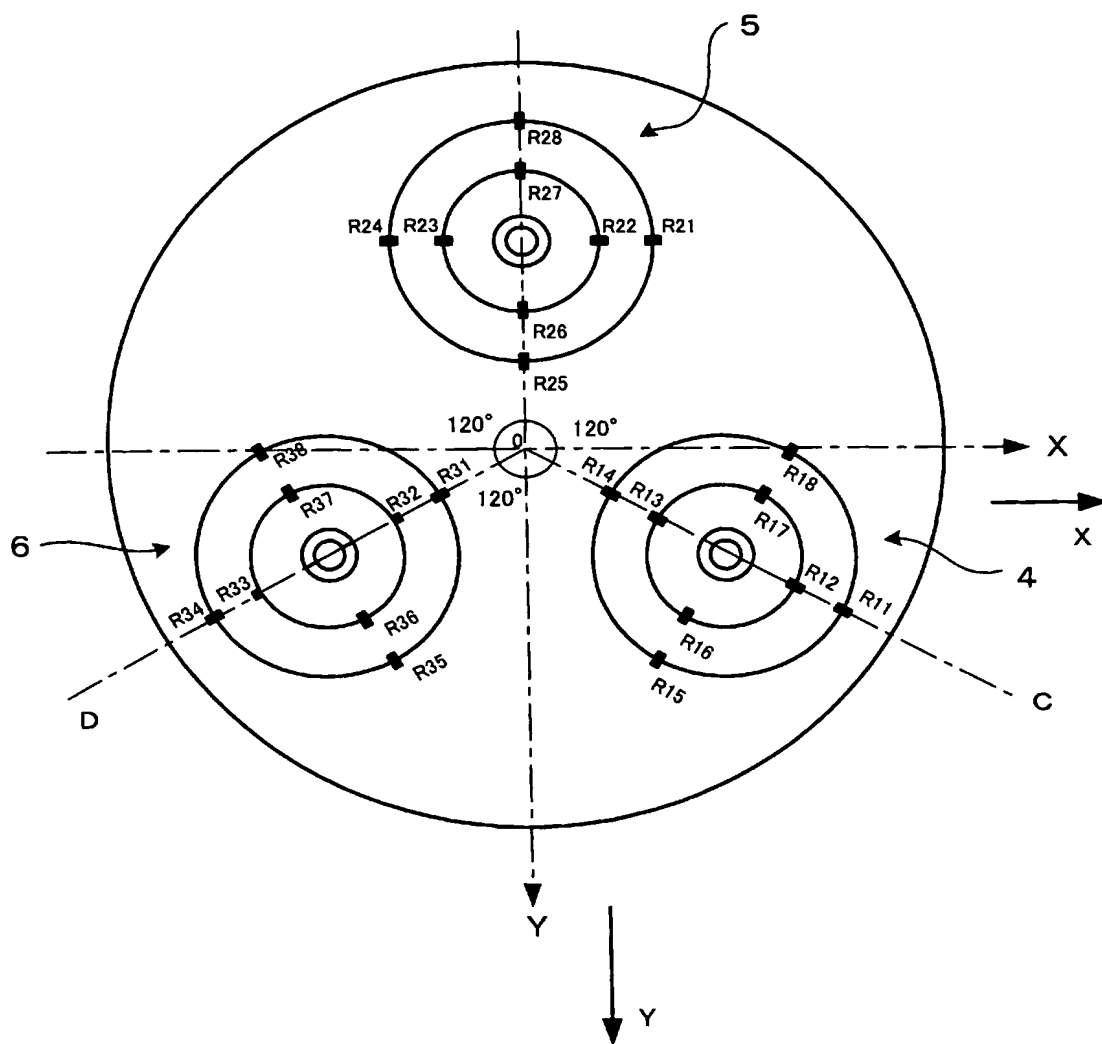




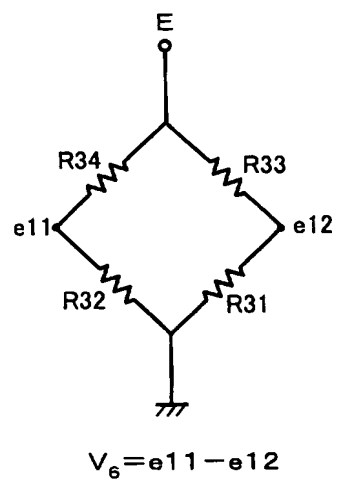
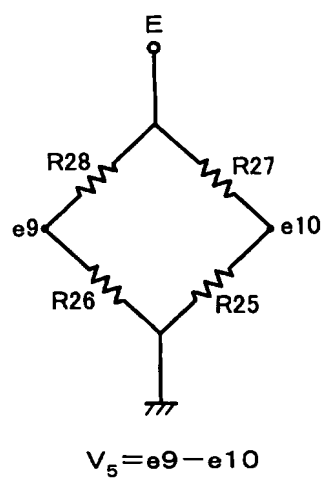
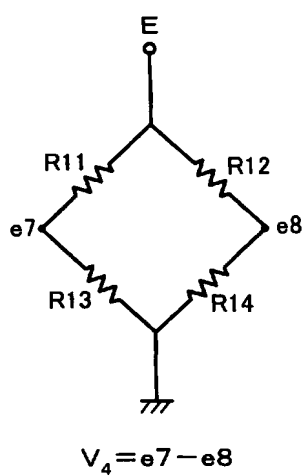
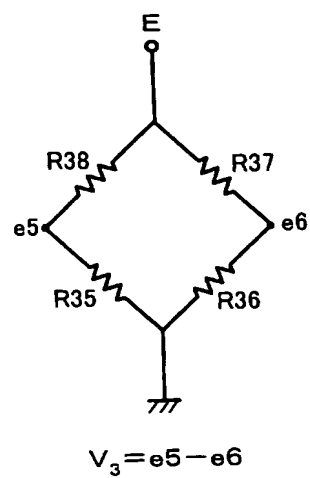
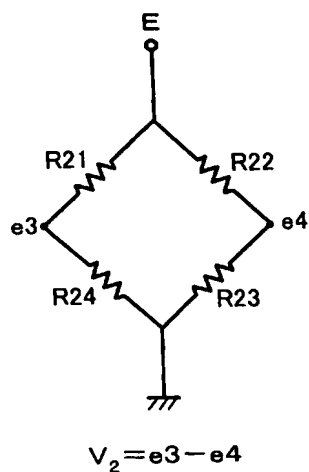
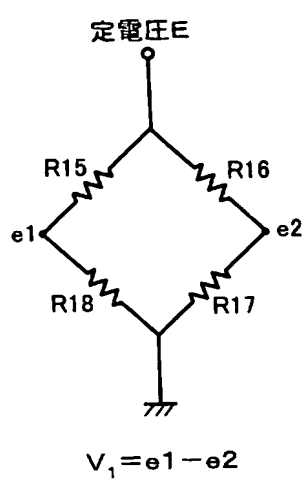
[図14]



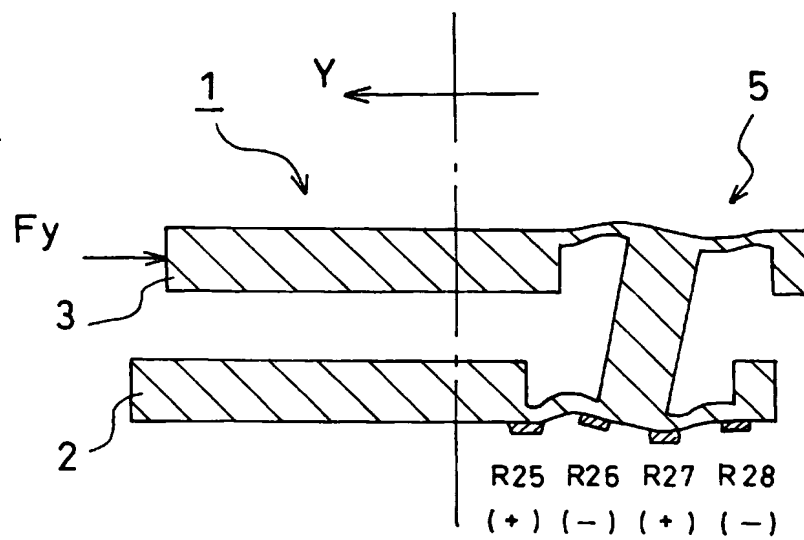
[図15]



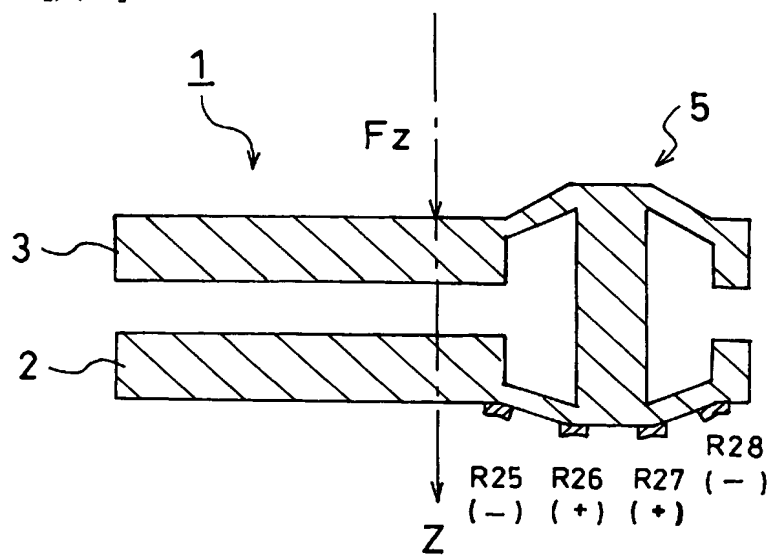
[図16]



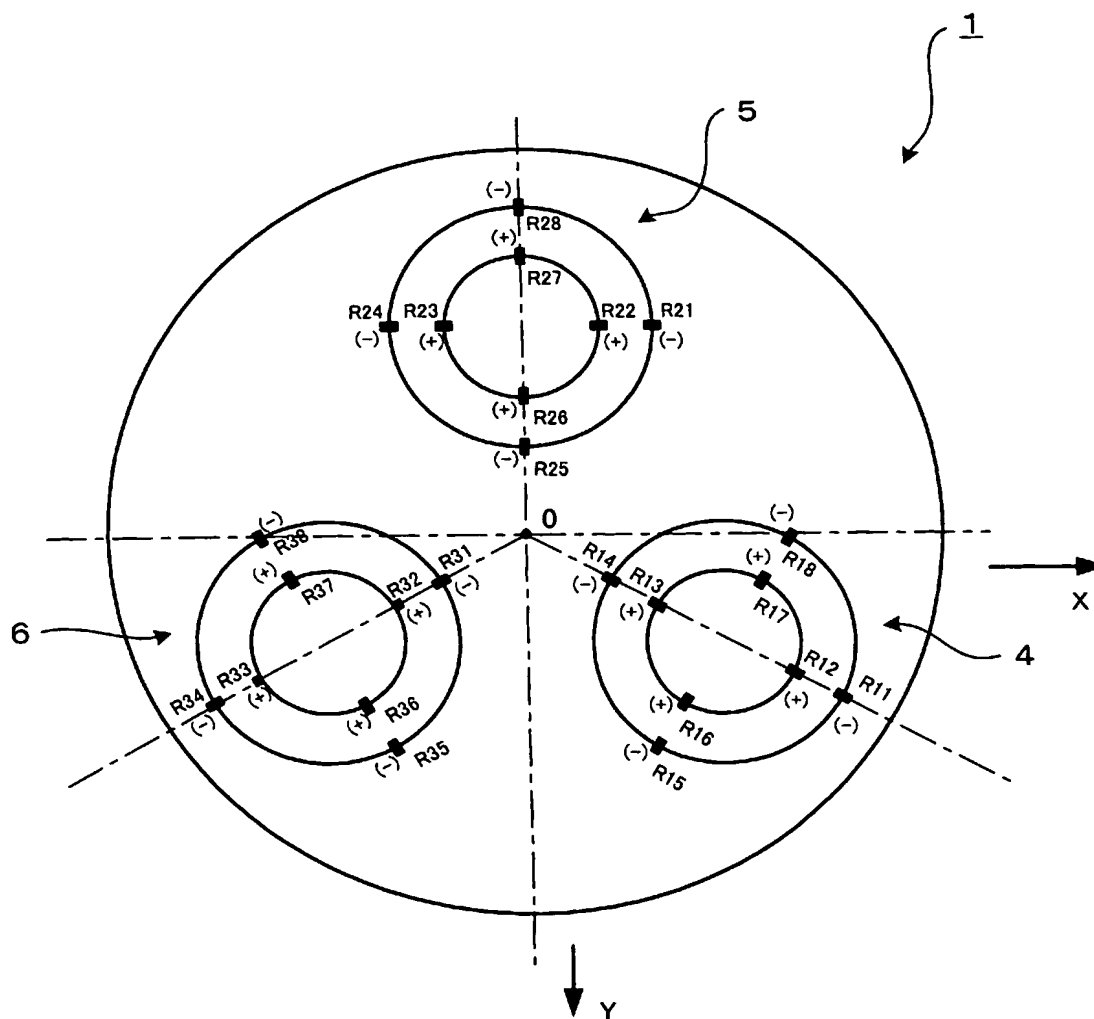
[図17]



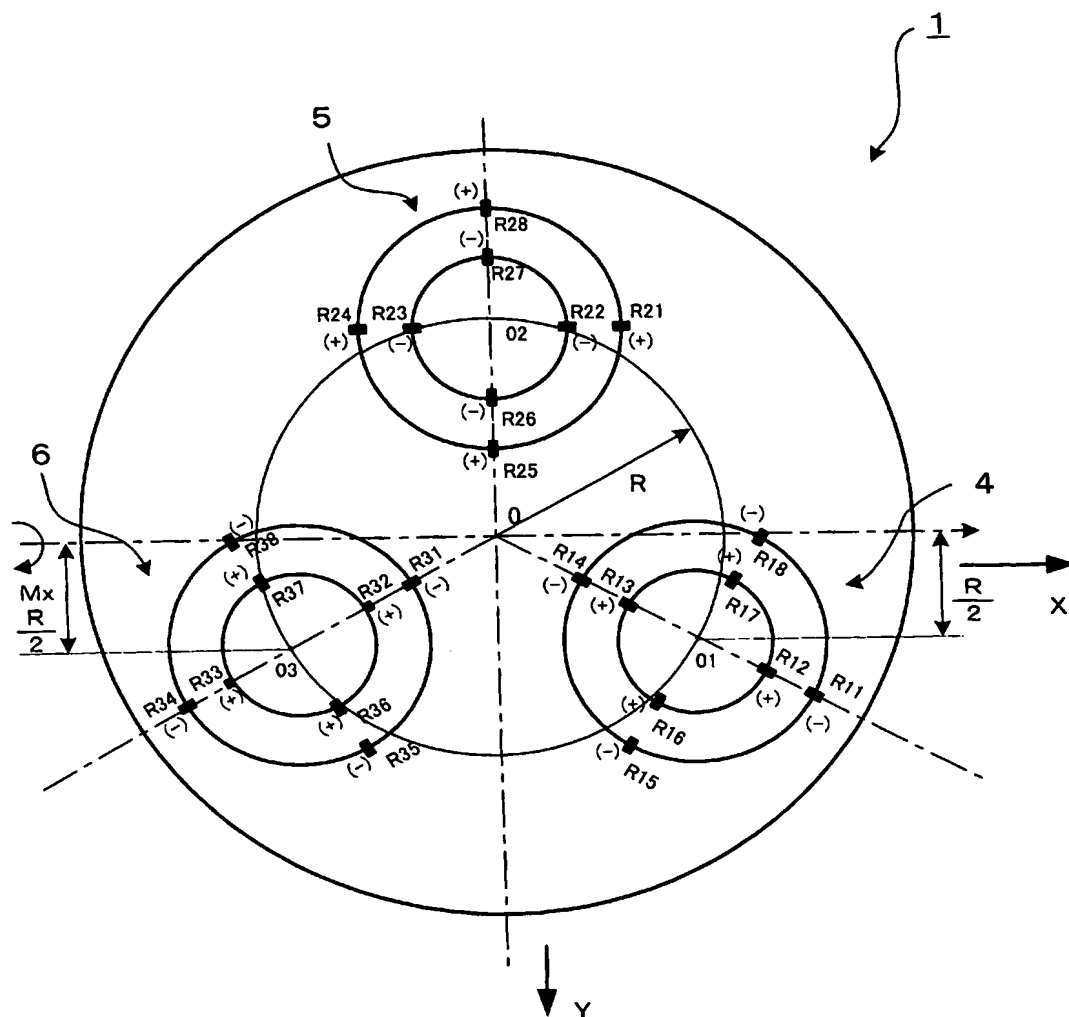
[図18]



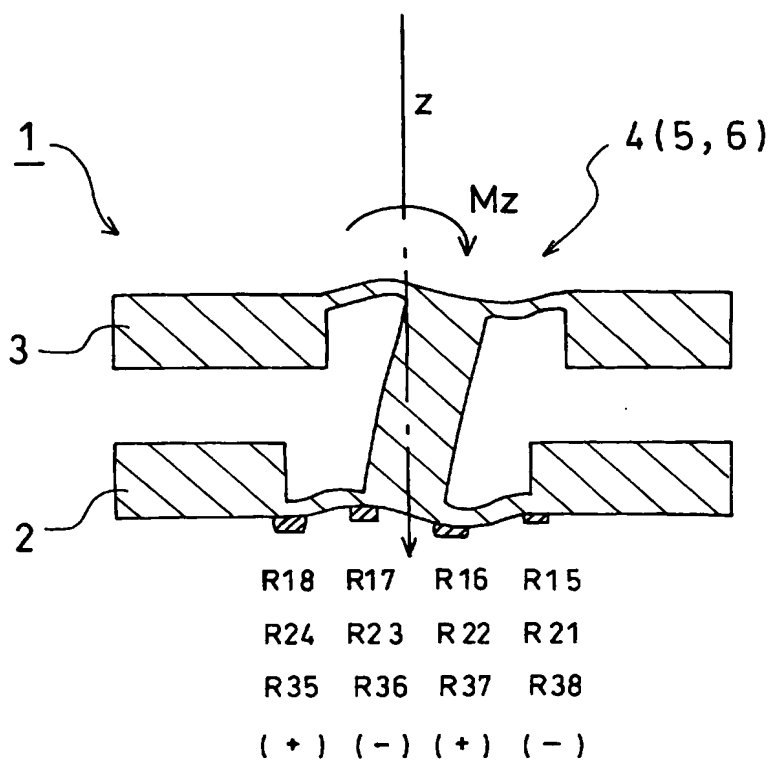
[図19]



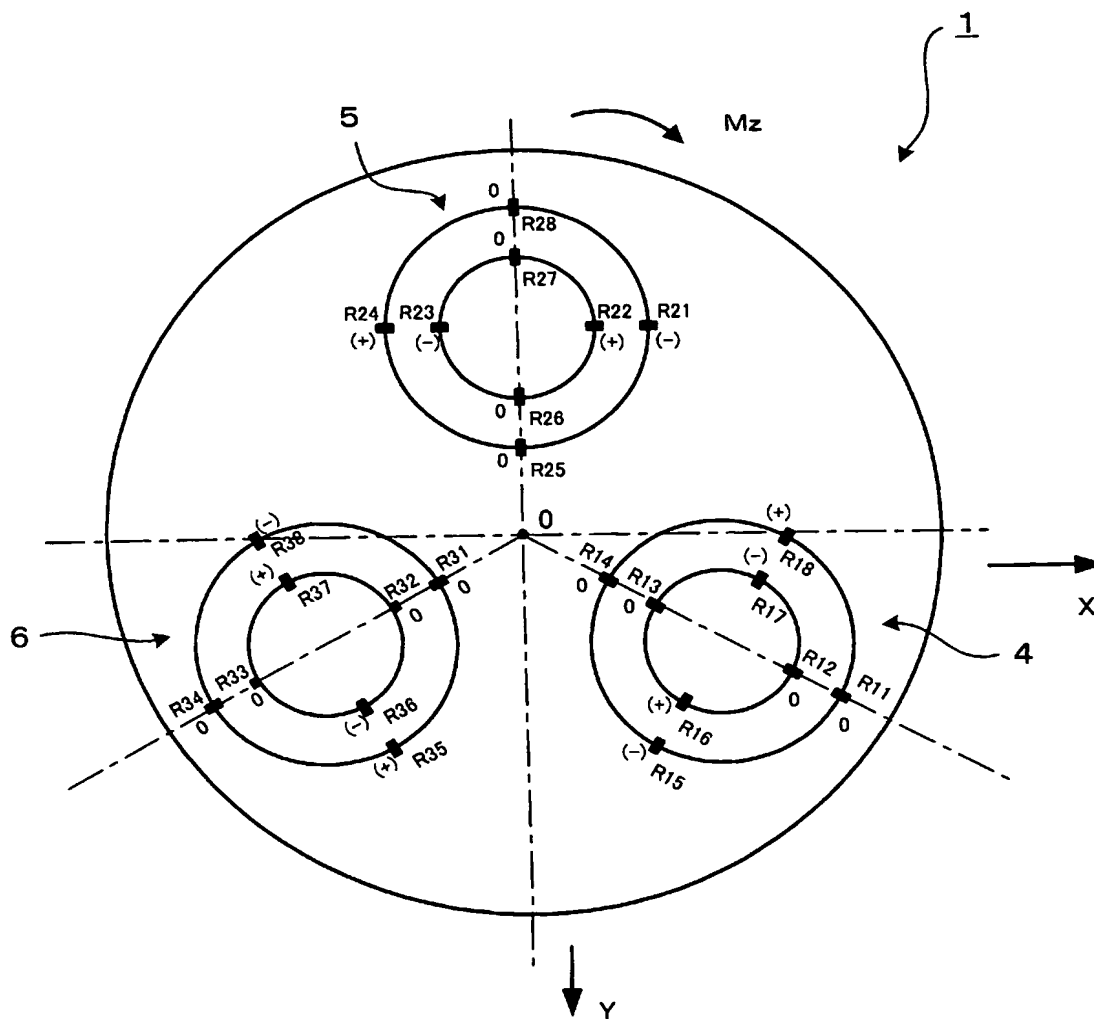
[図20]



[図21]

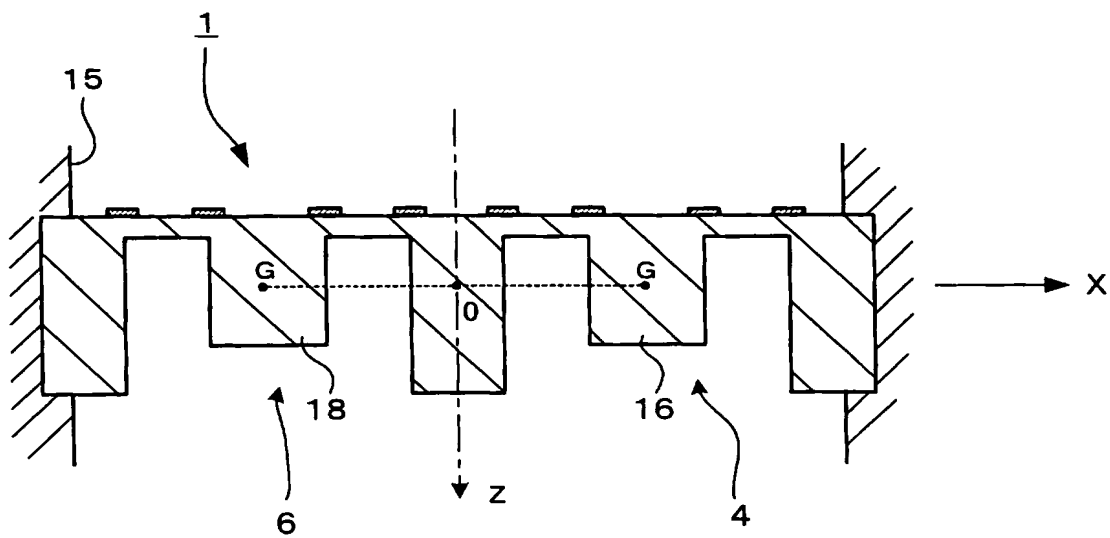


[図22]

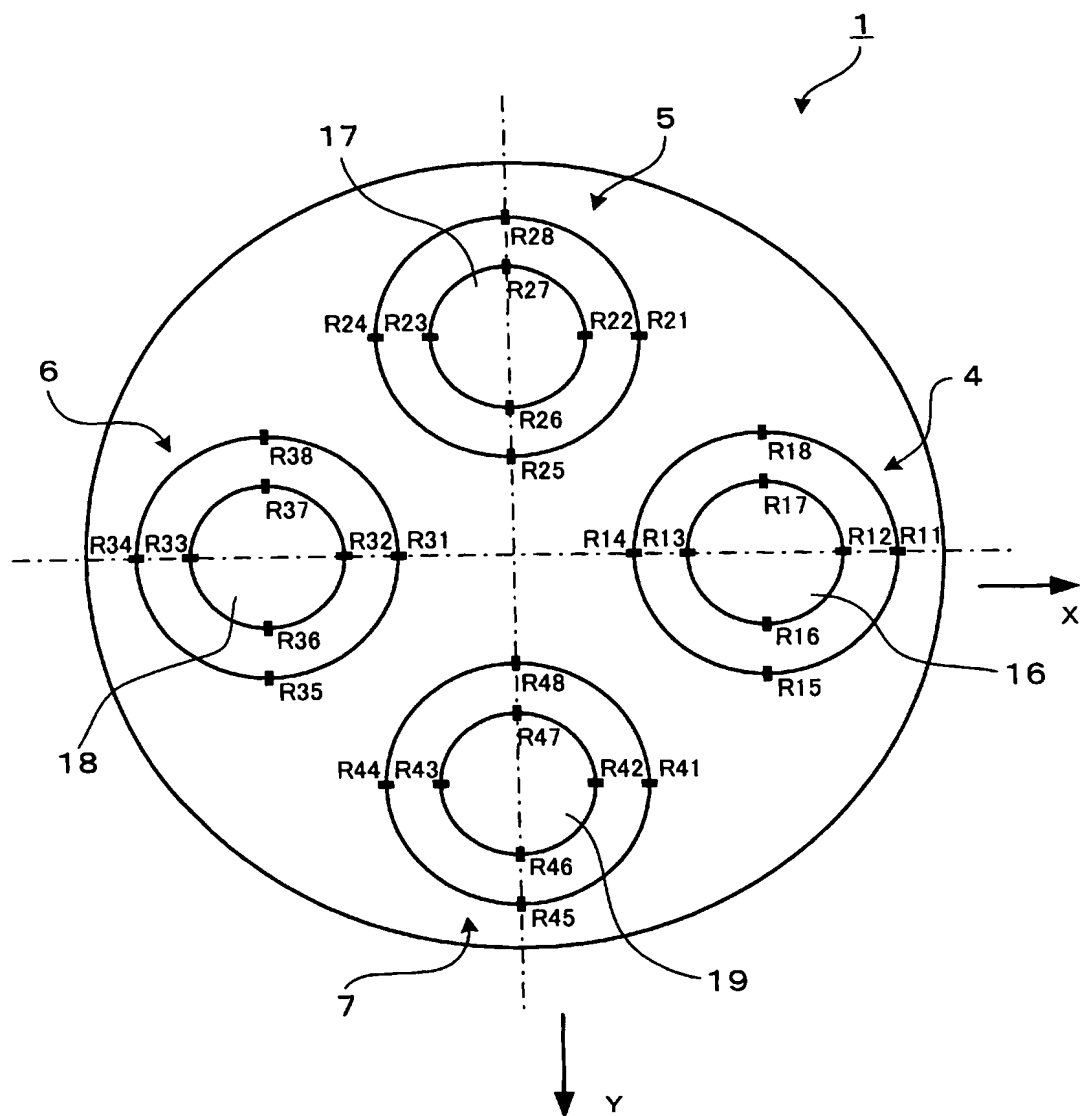




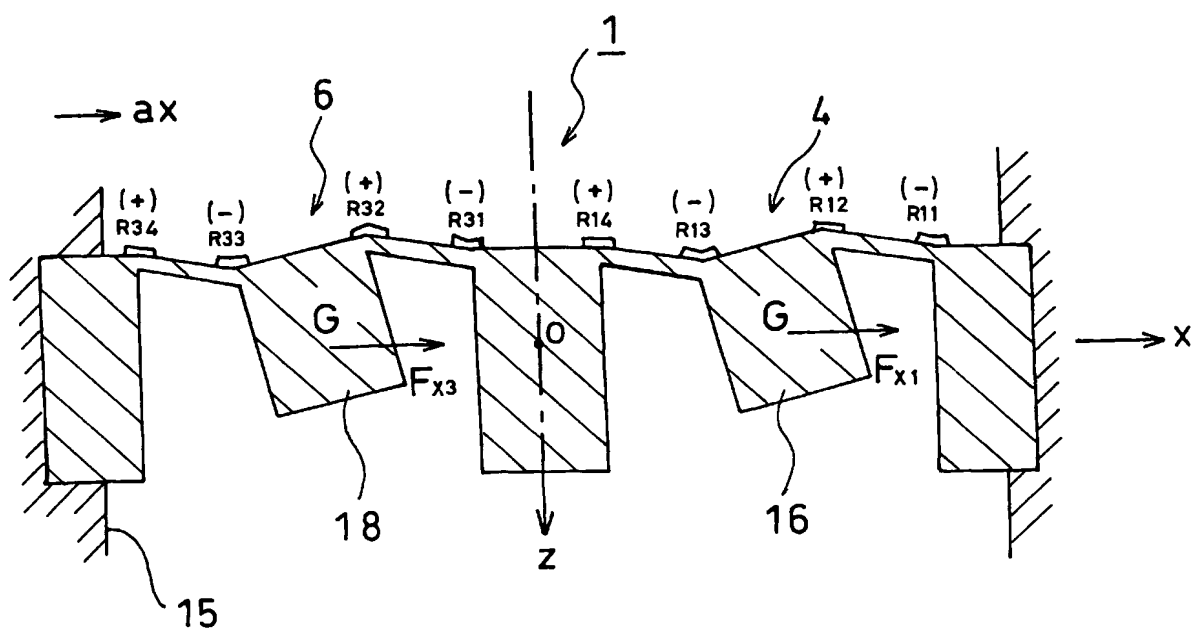
[図23]



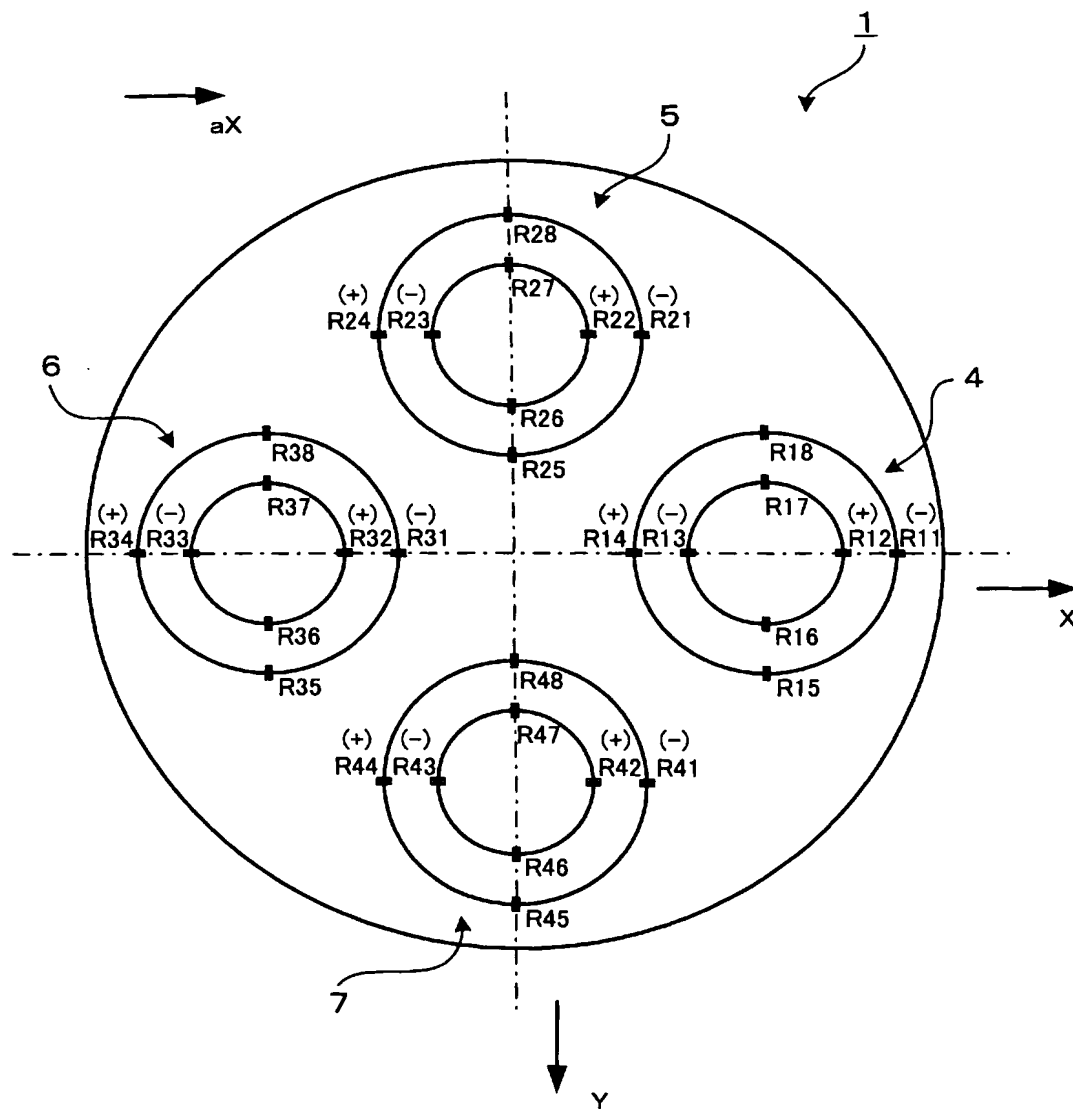
[図24]



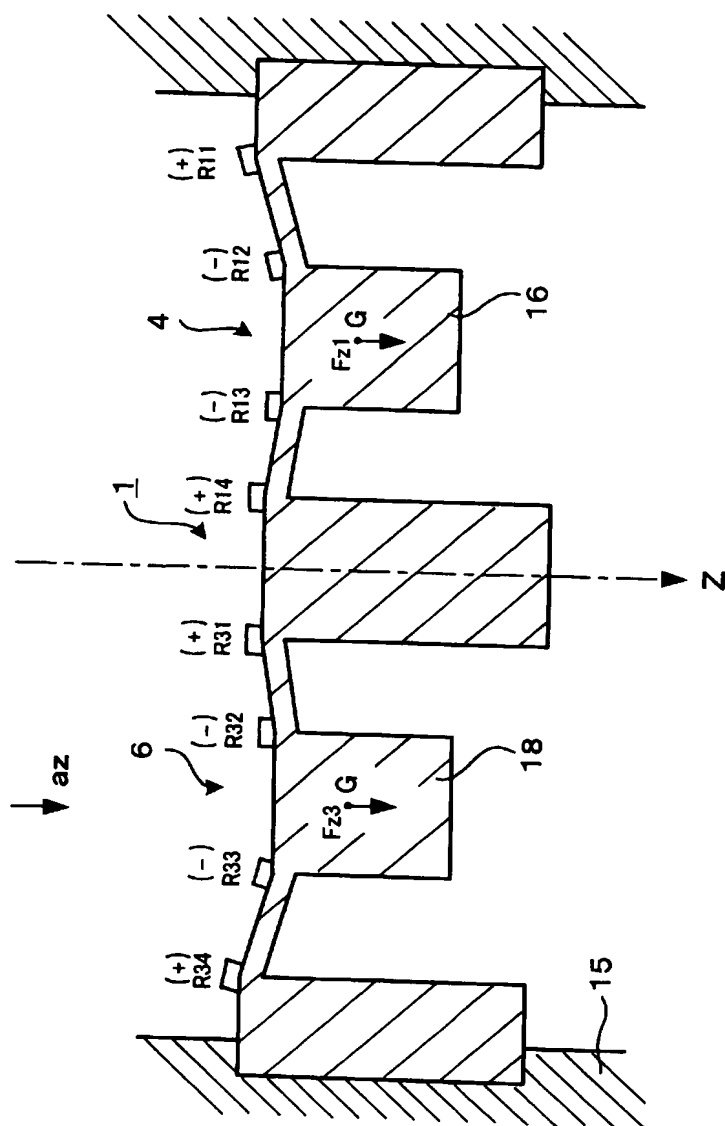
[図25]



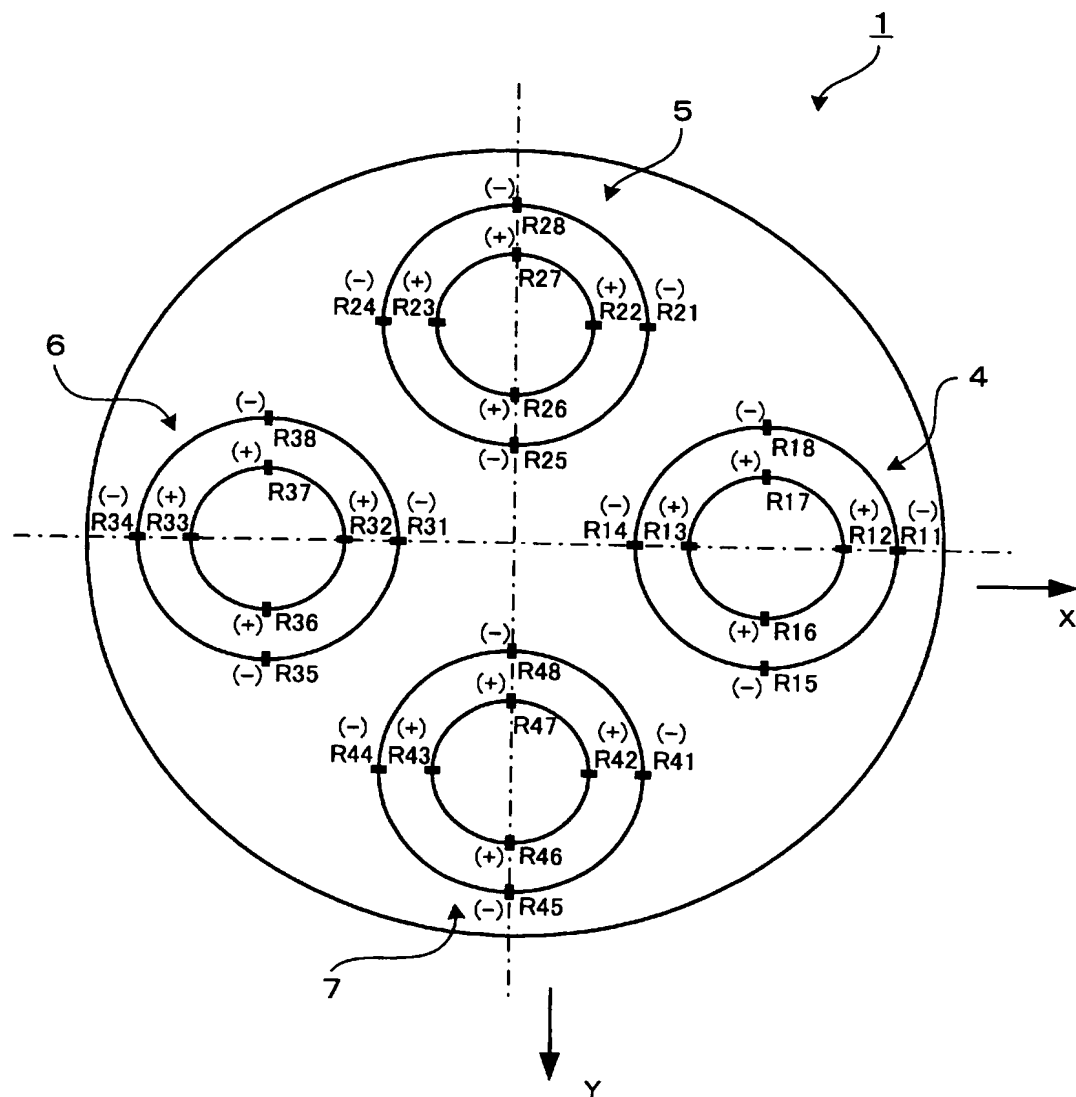
[図26]



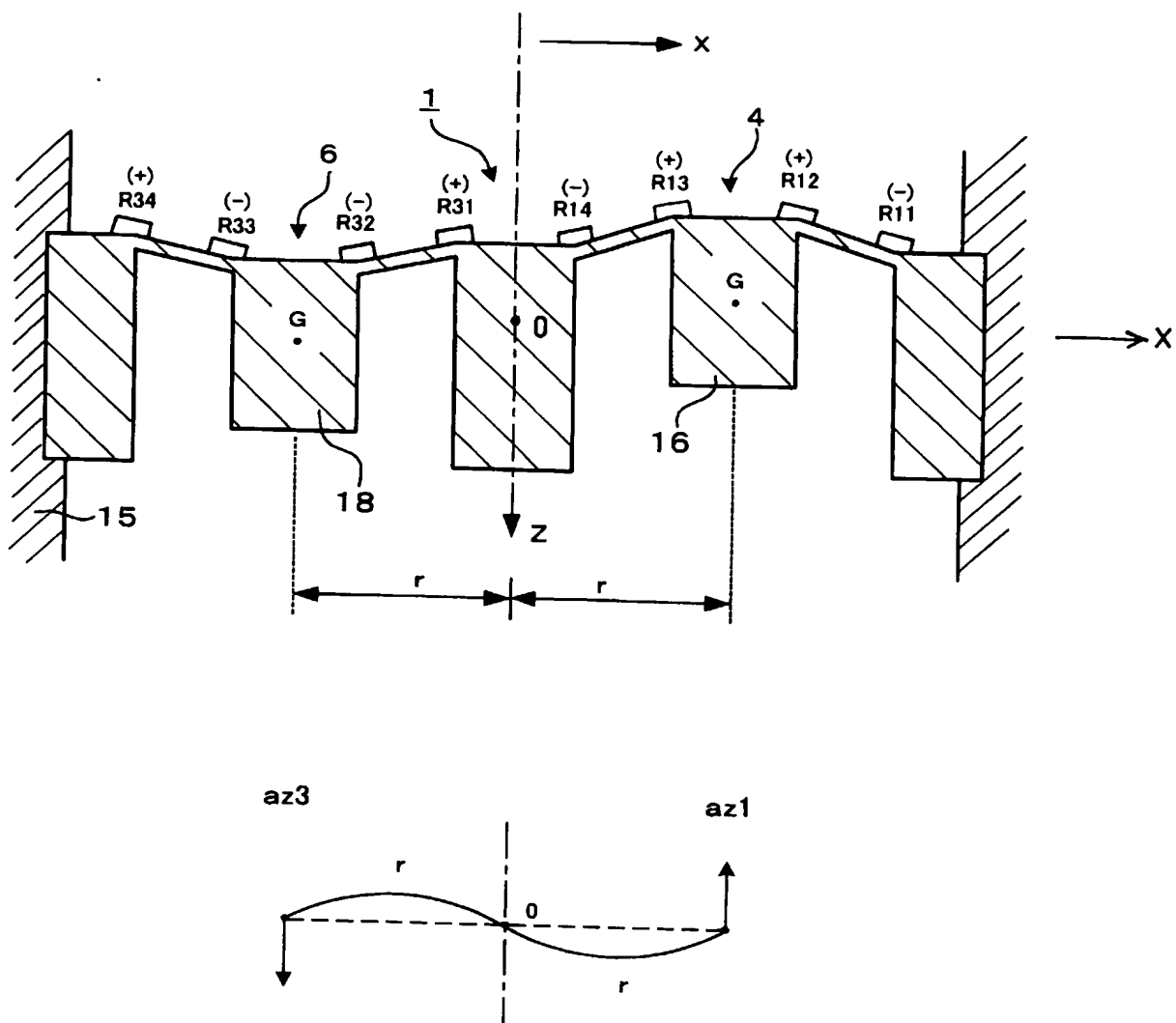
[図27]



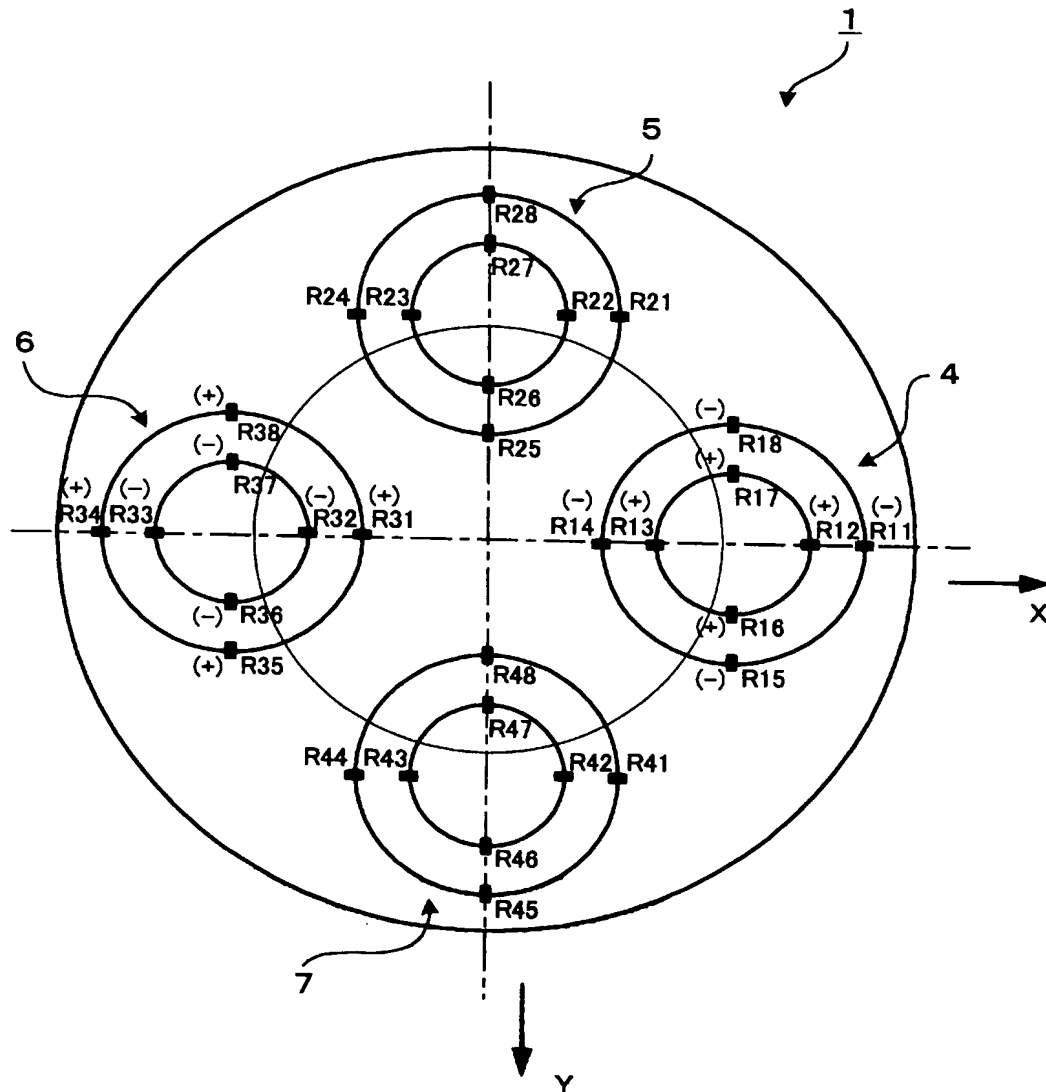
[図28]



[図29]



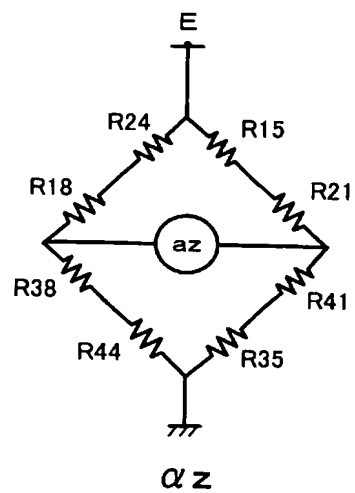
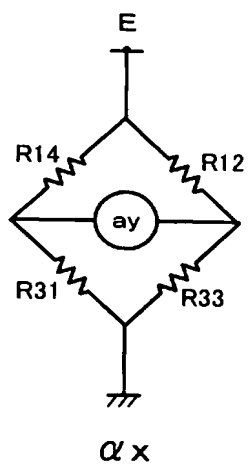
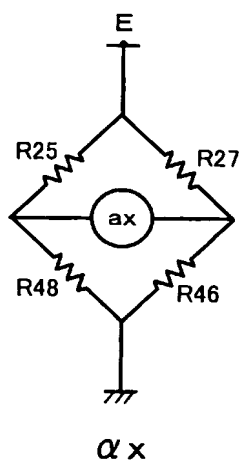
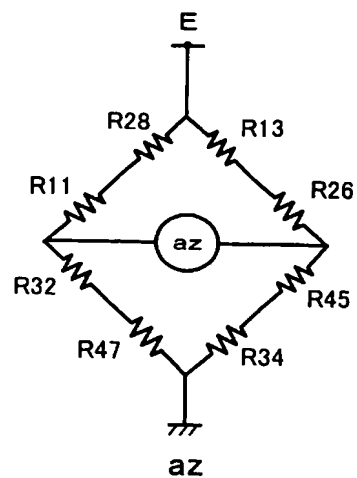
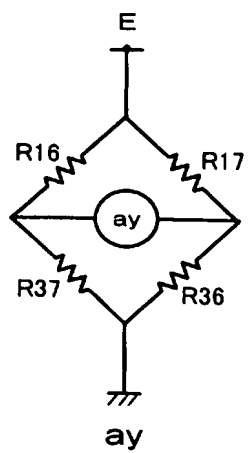
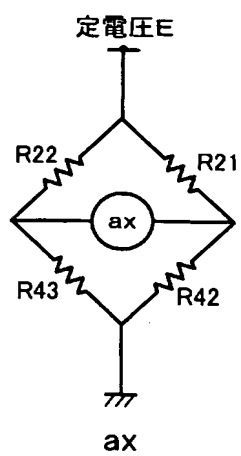
[図30]



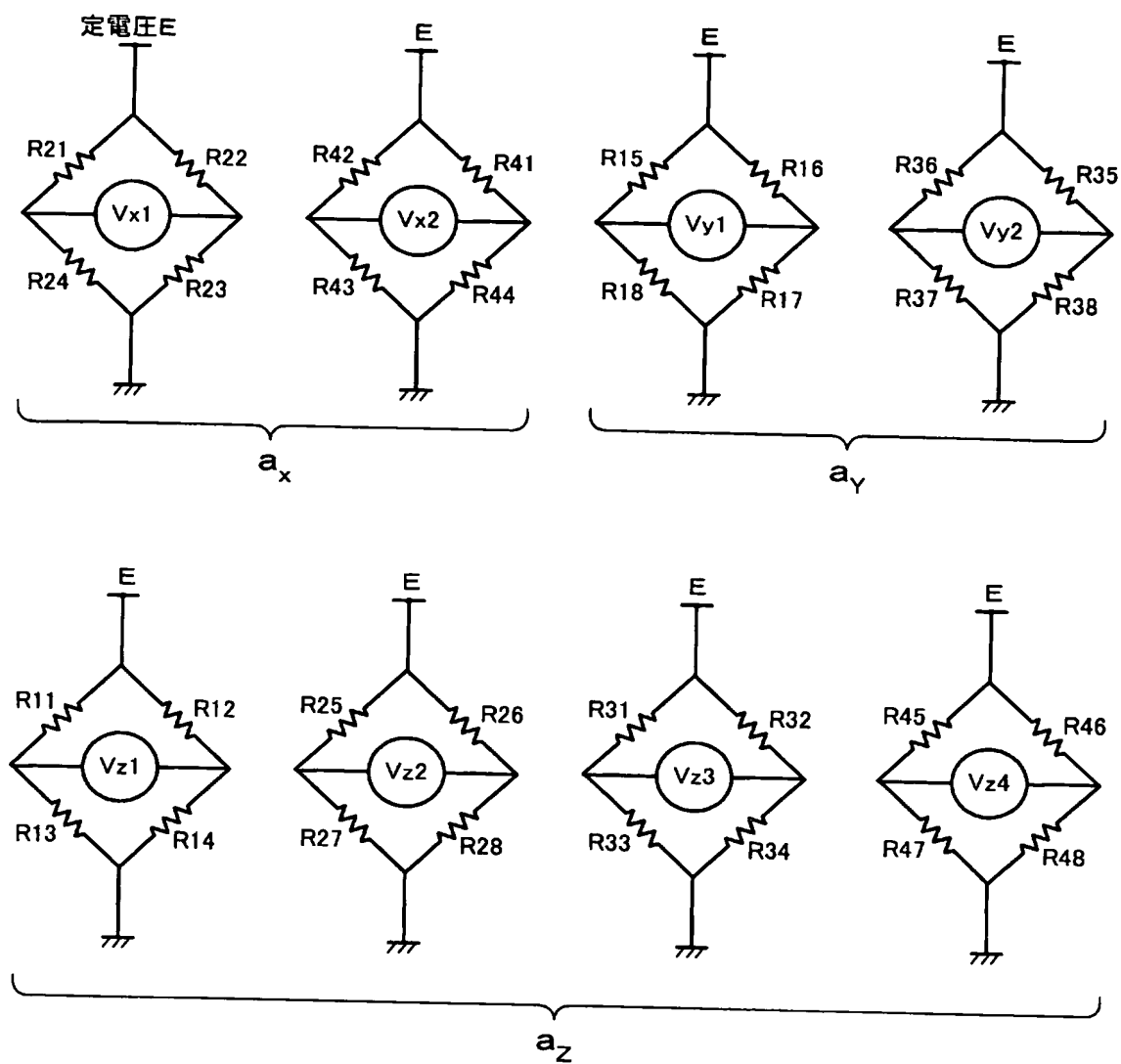




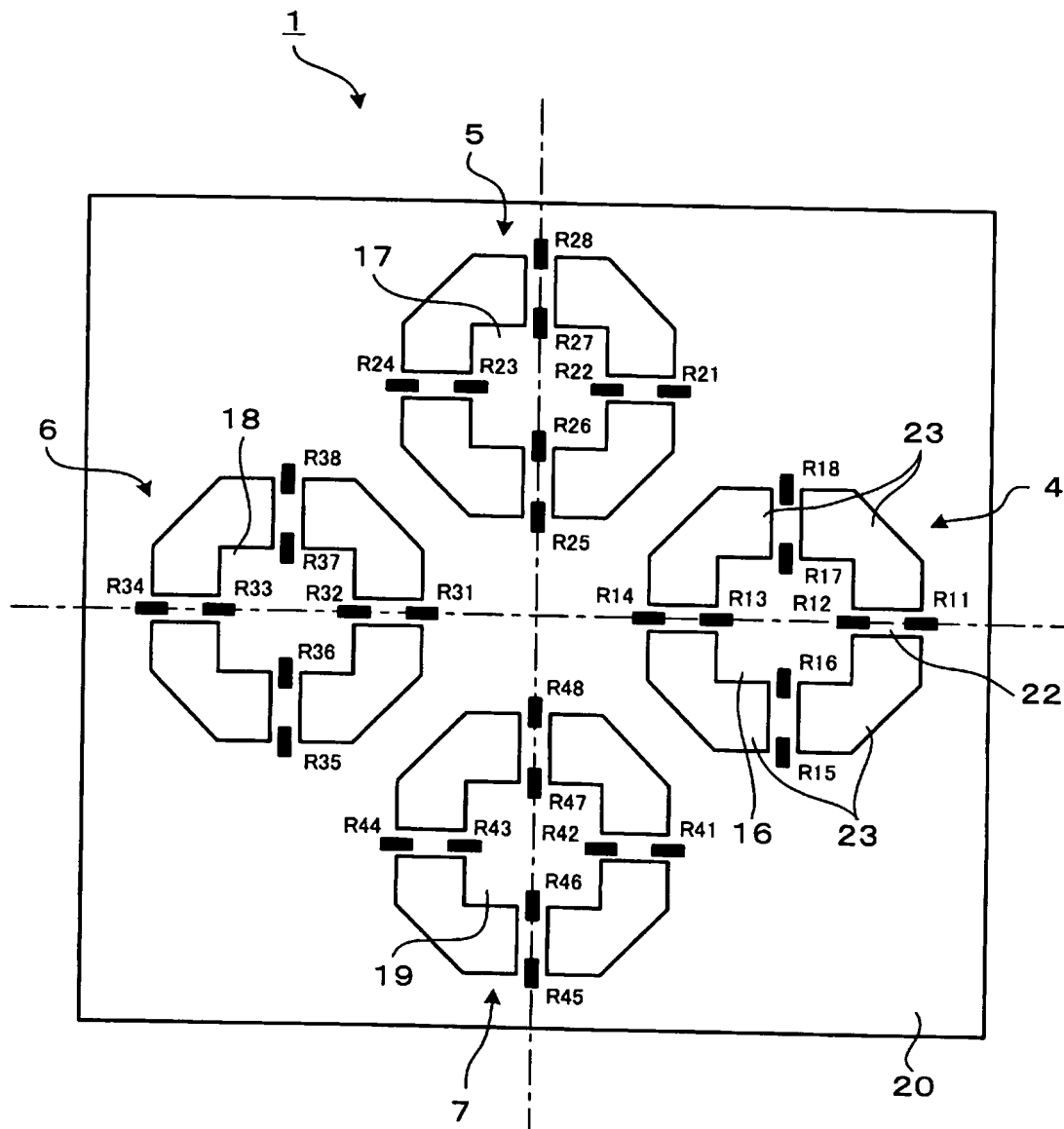
[図32]



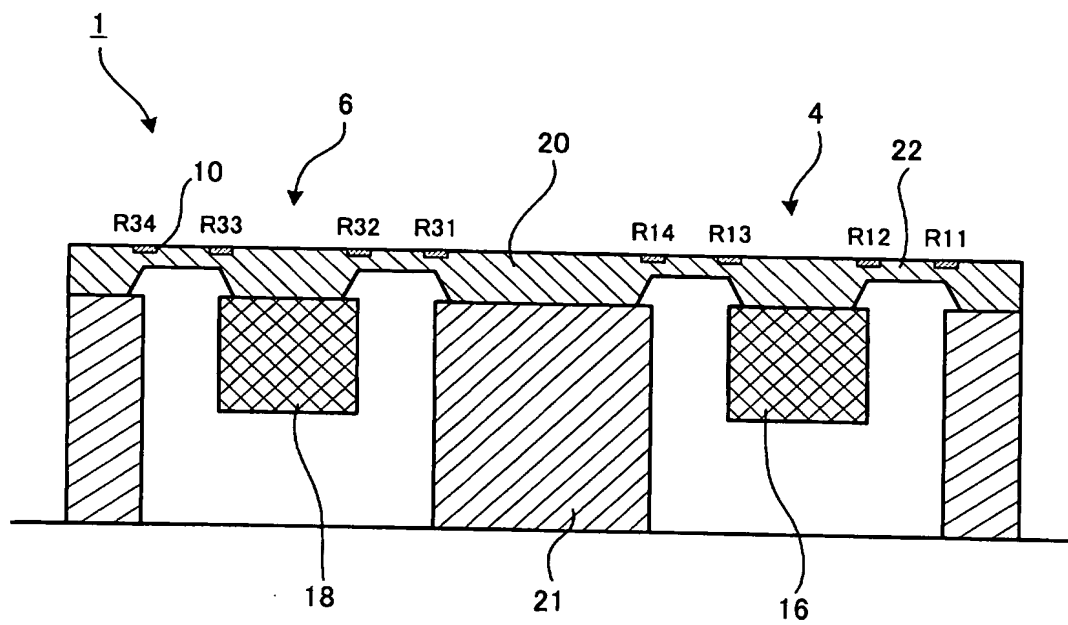
[図33]



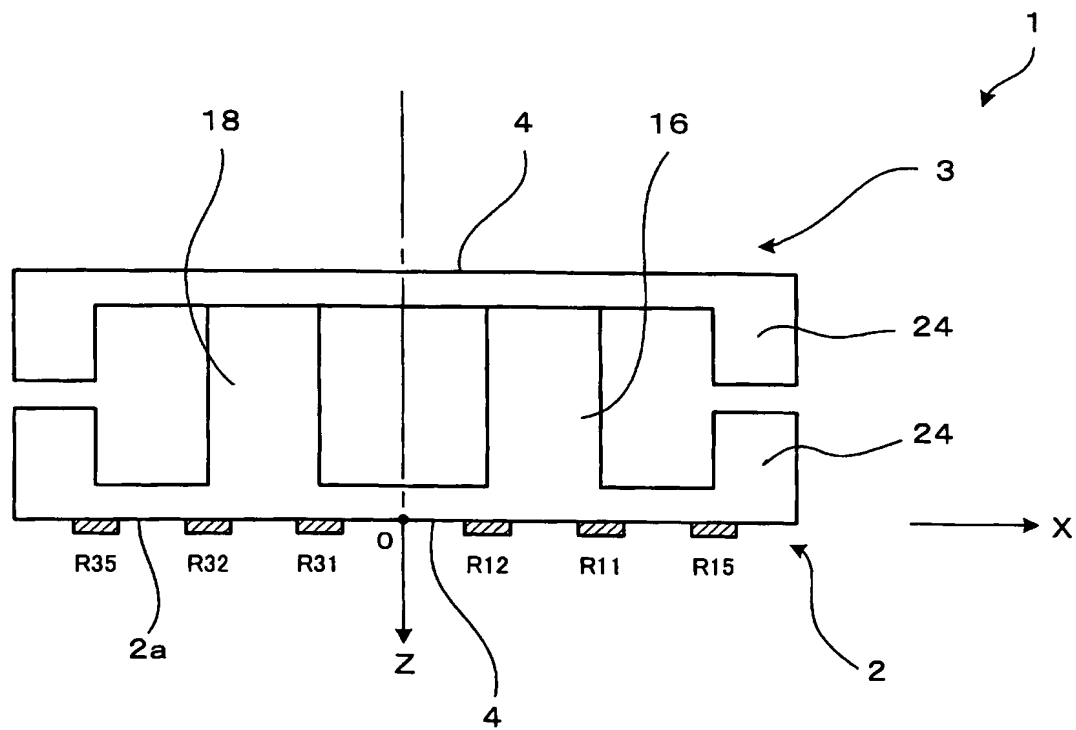
[図34]



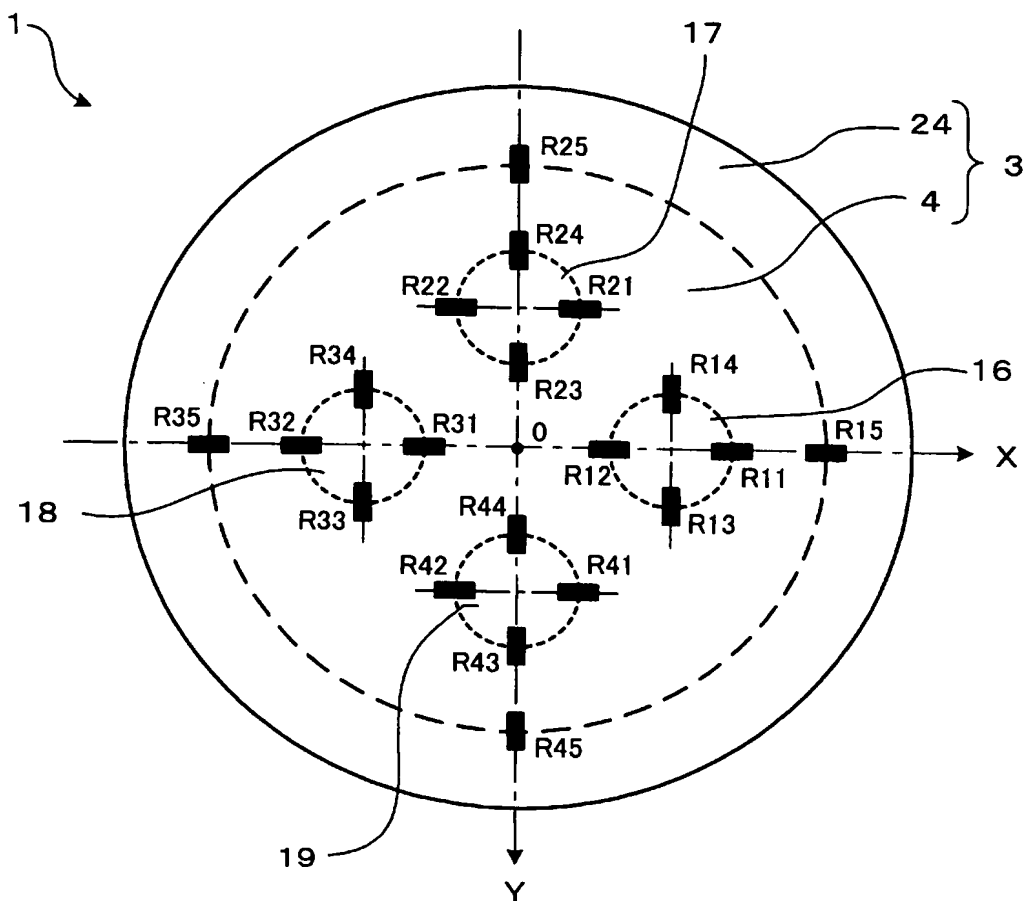
[図35]



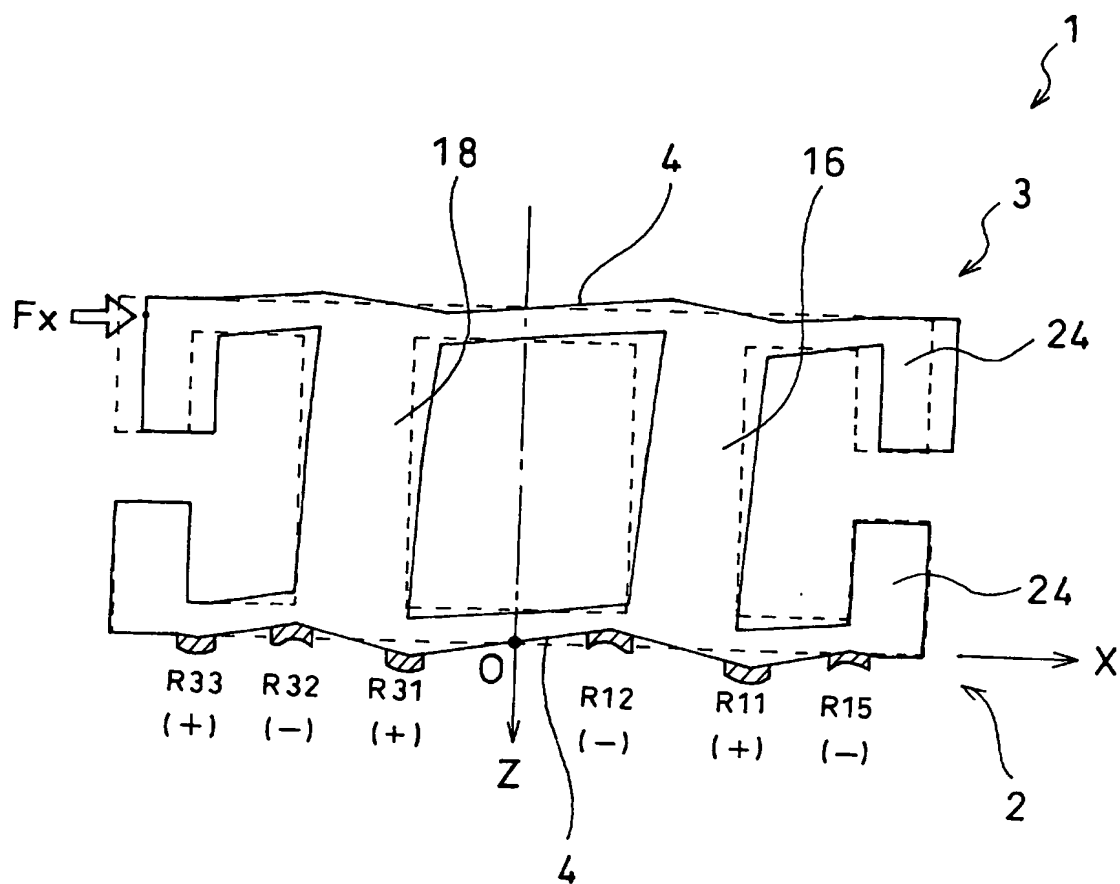
[図36]



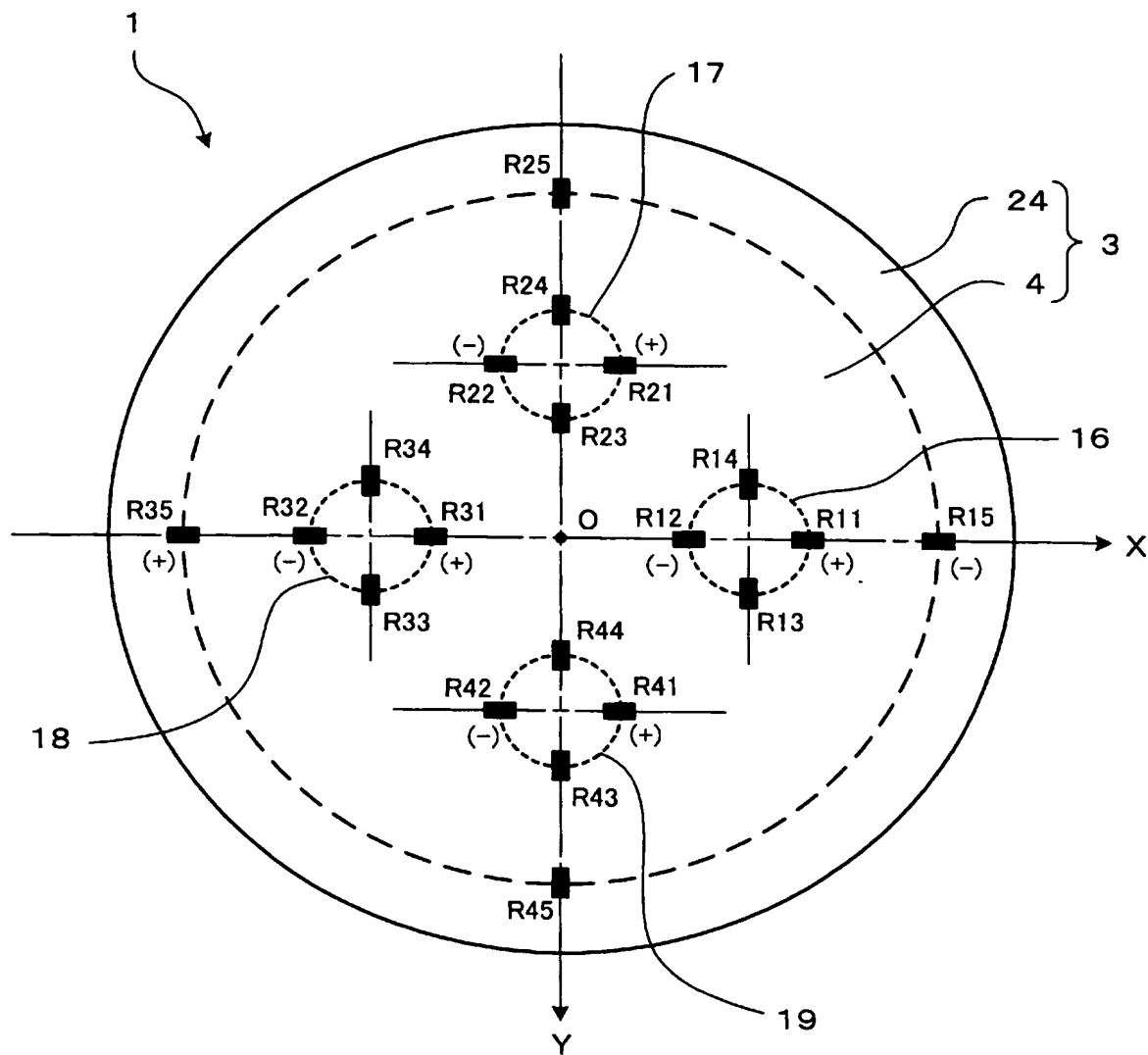
[図37]



[図38]

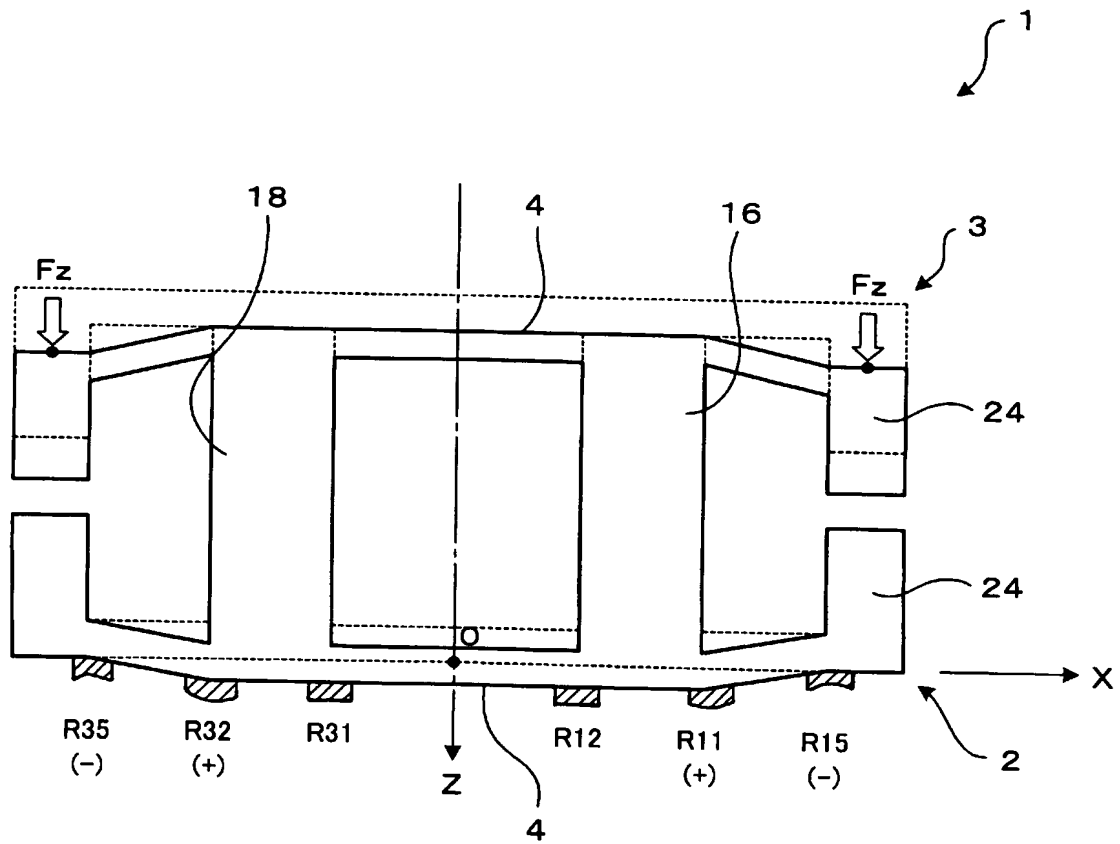


[図39]

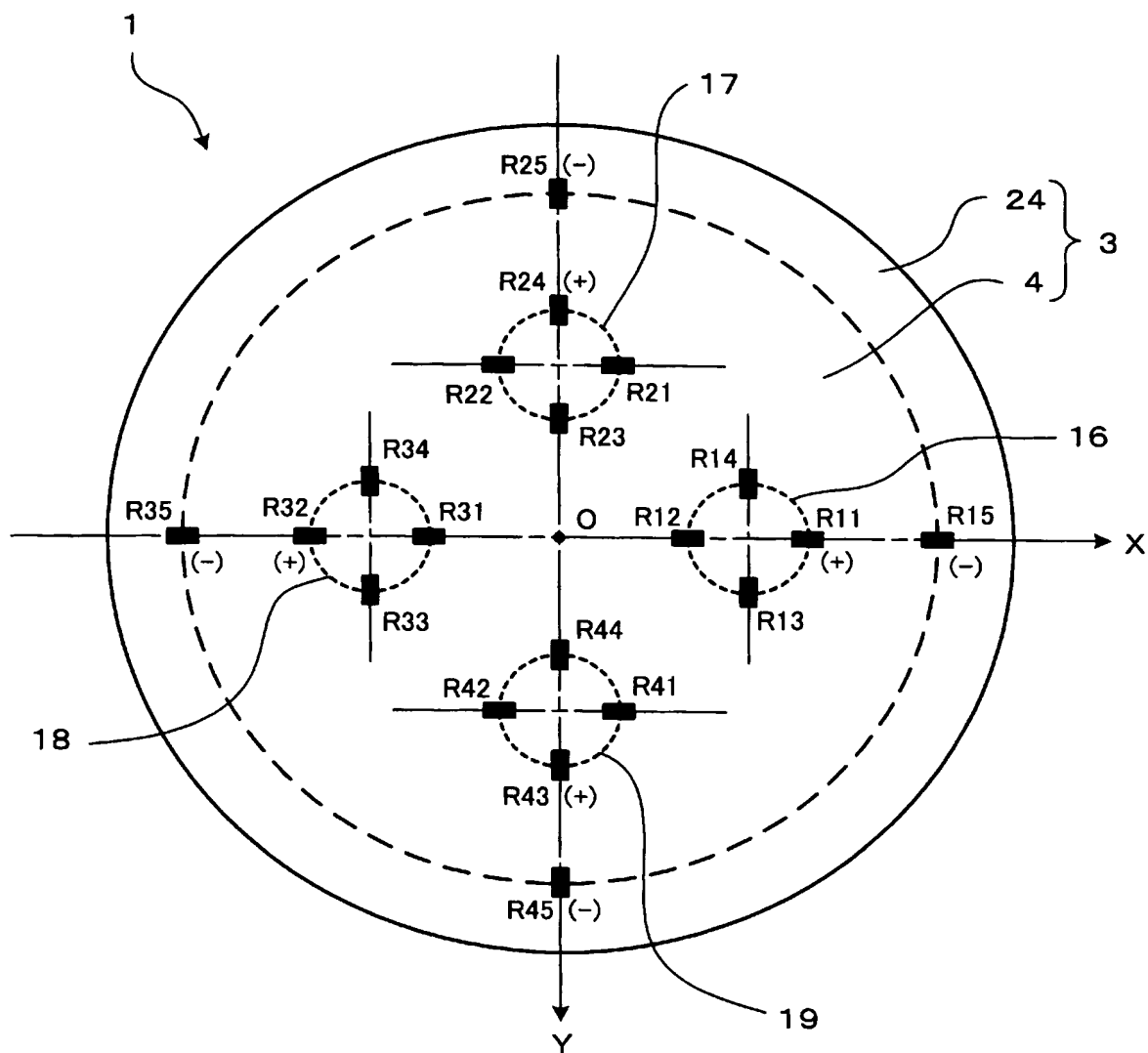




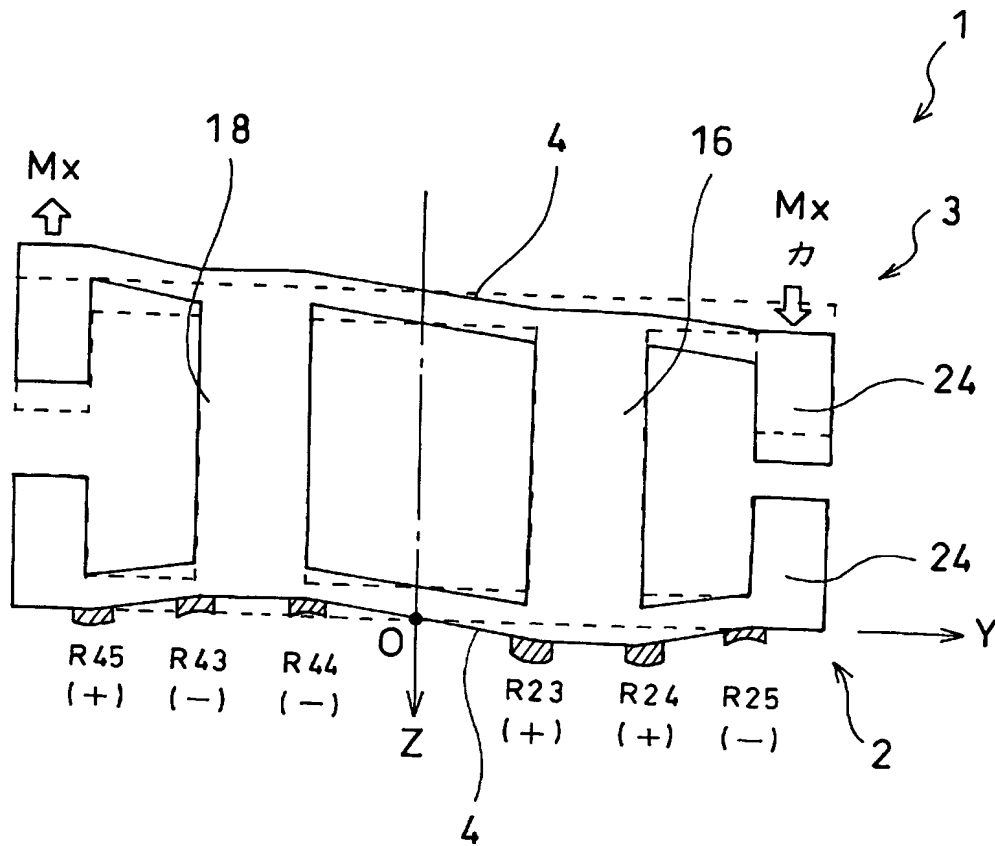
[図40]



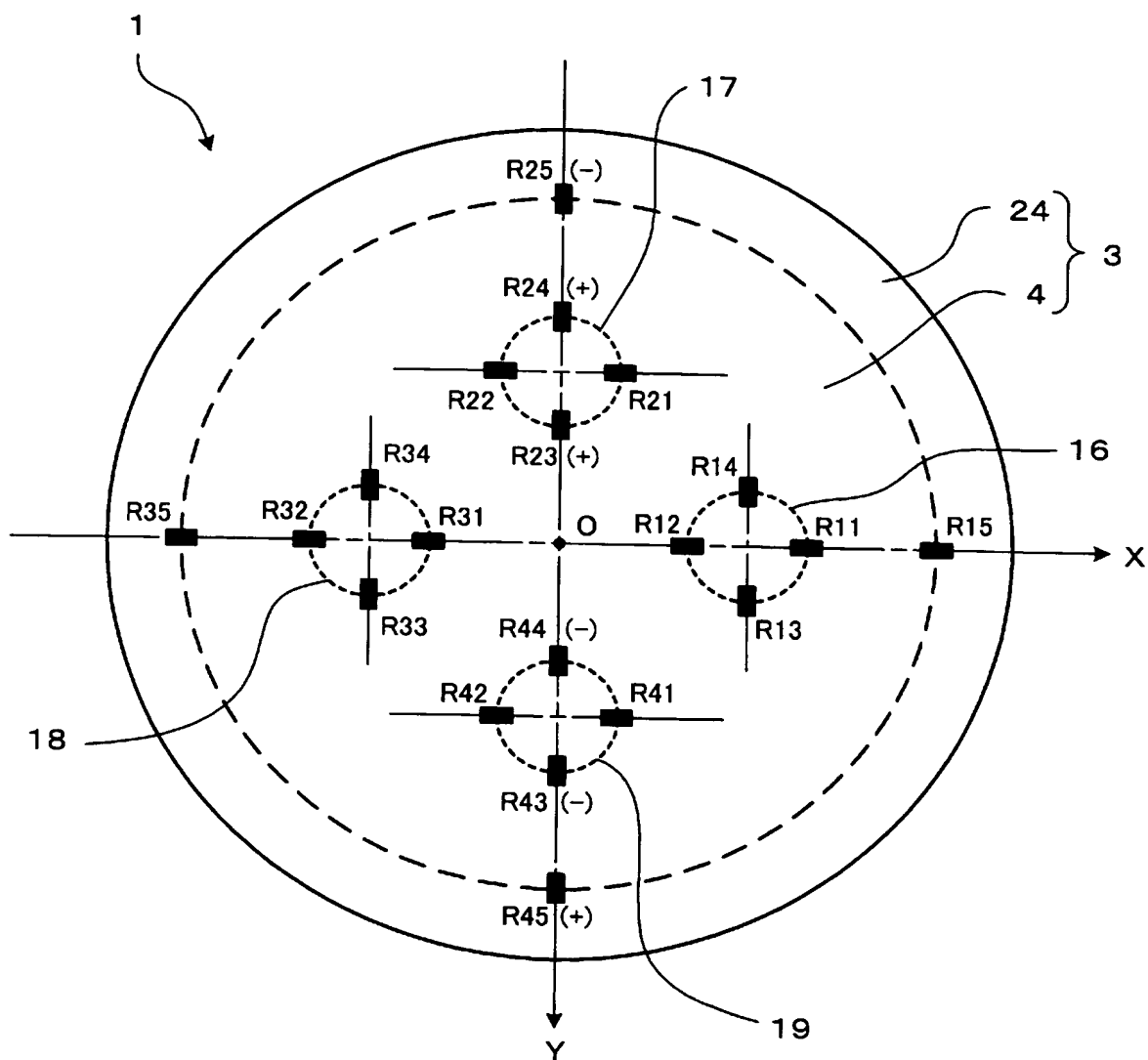
[図41]



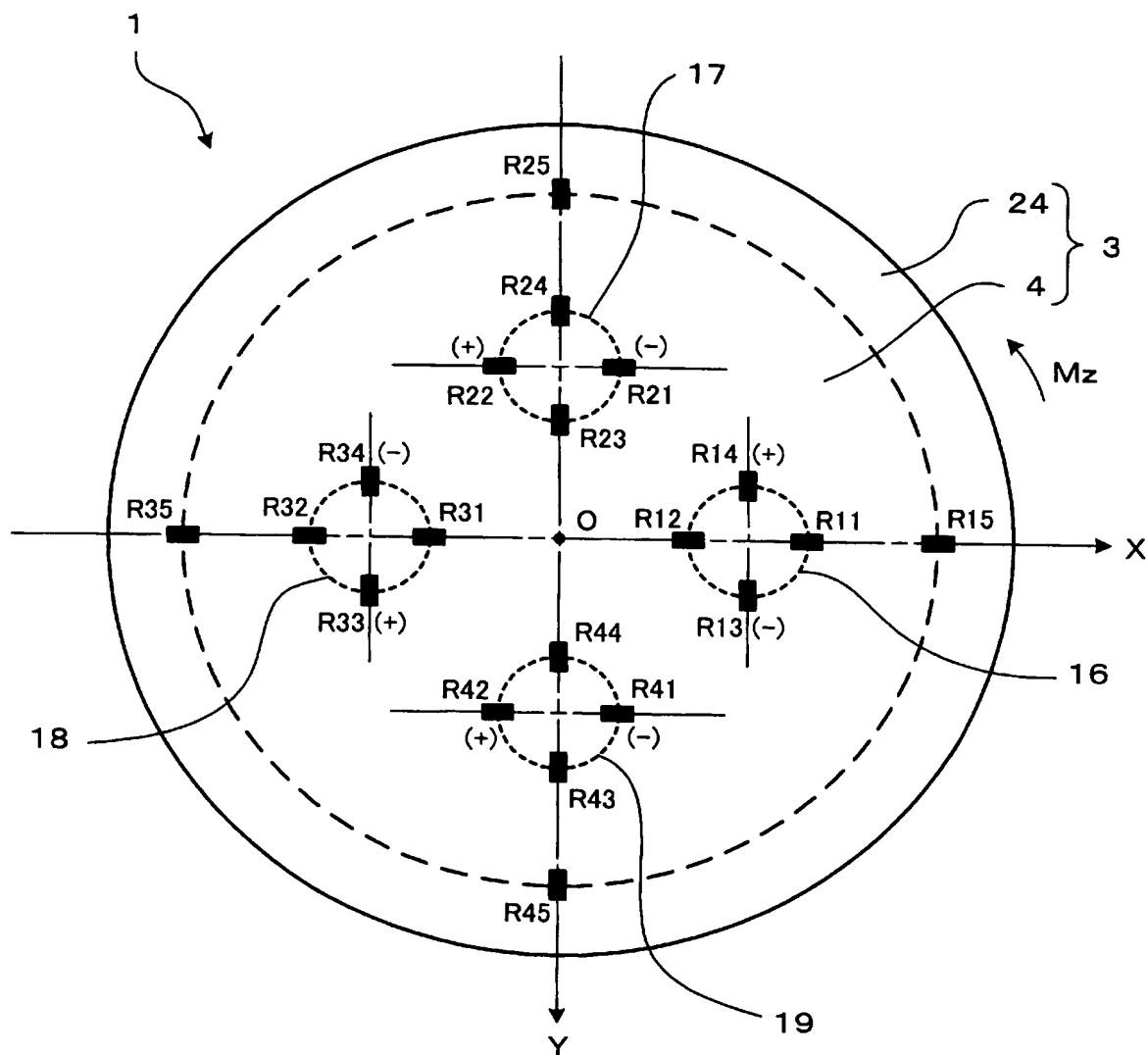
[図42]



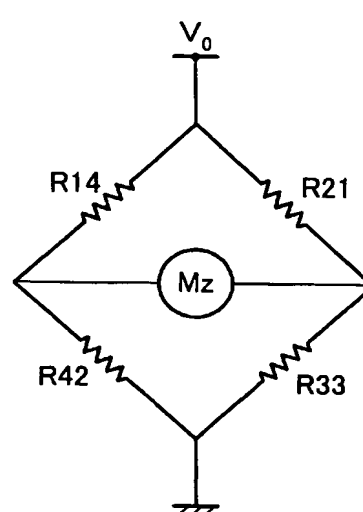
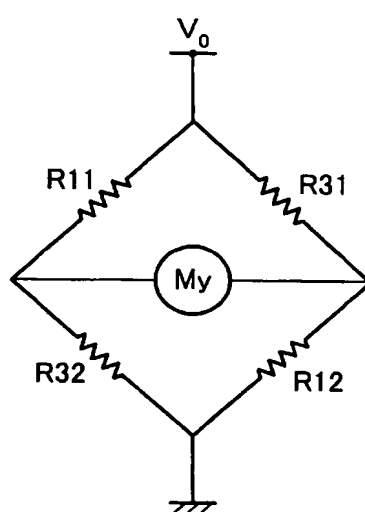
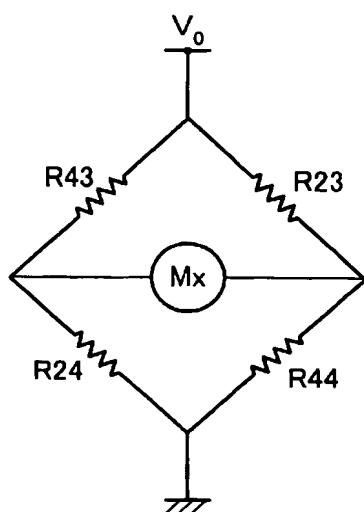
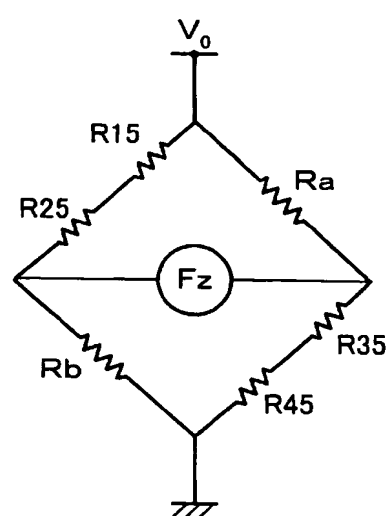
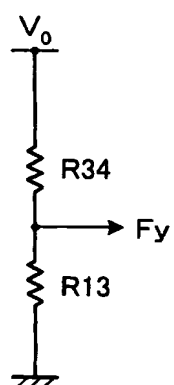
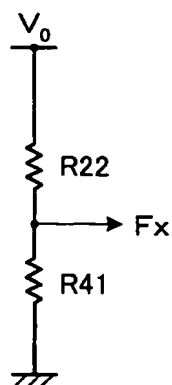
[図43]



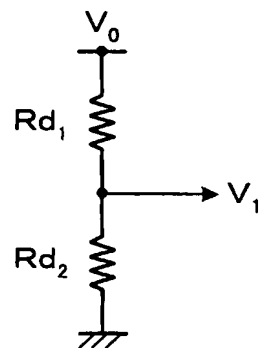
[図44]



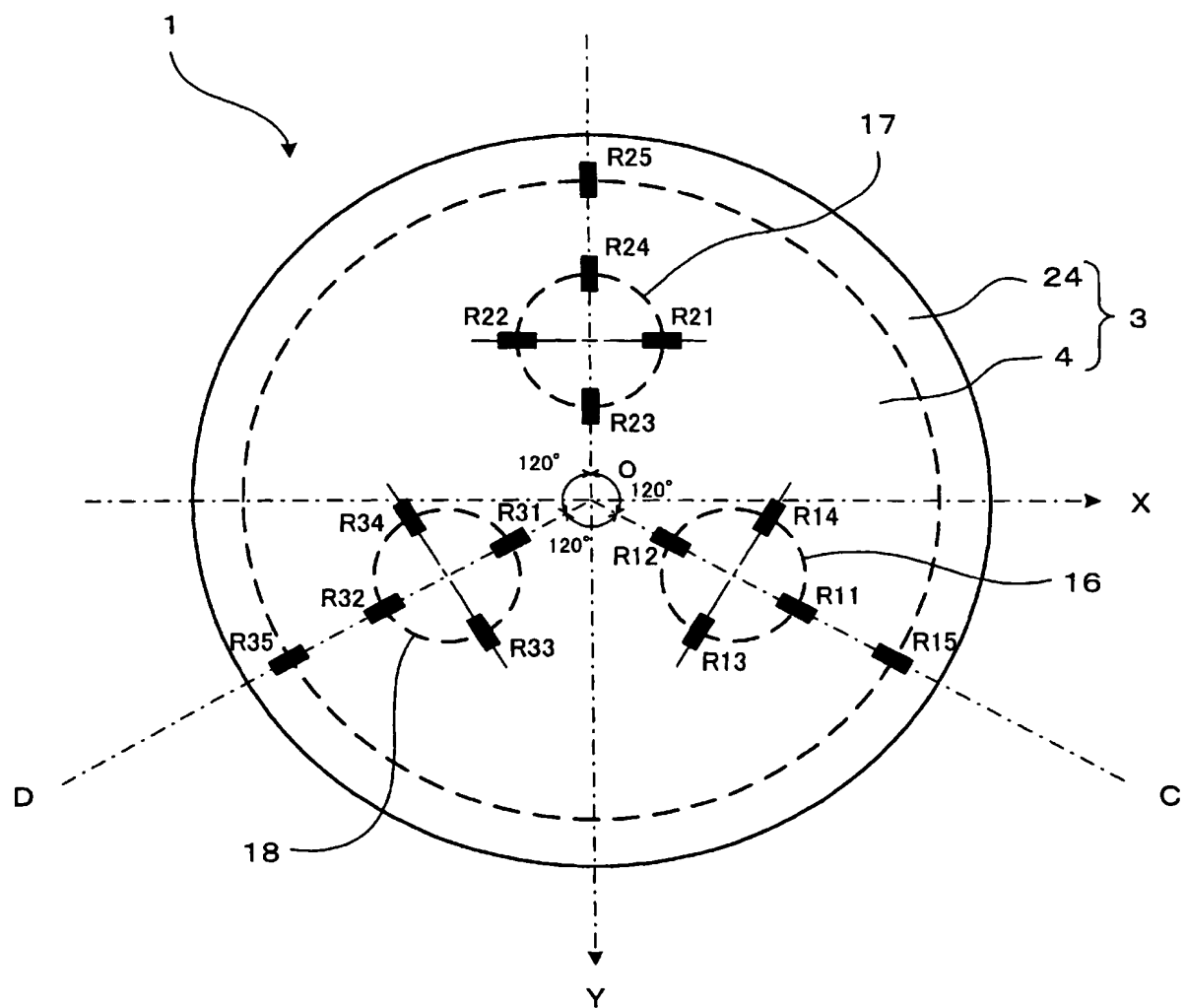
[図45]



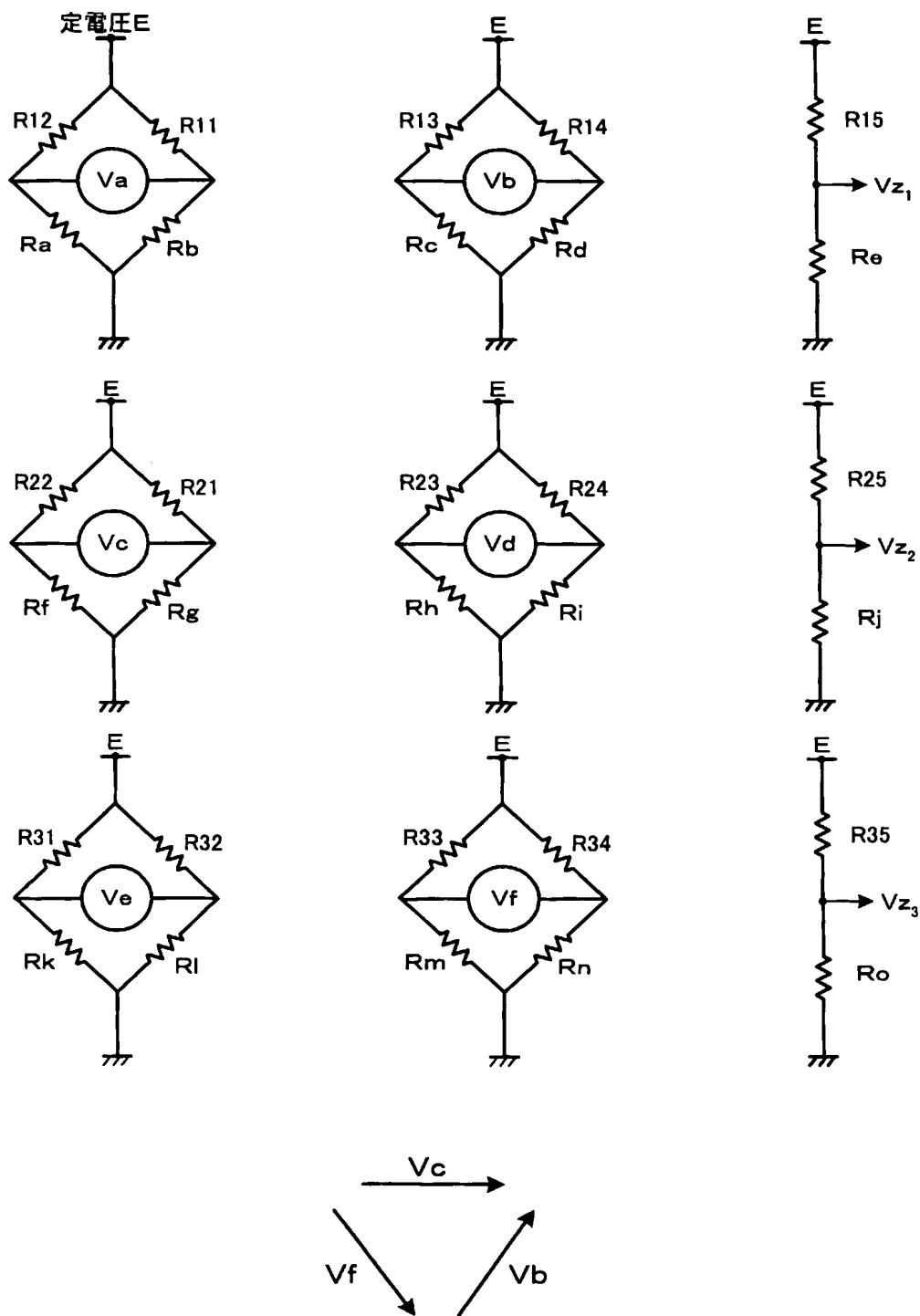
[図46]



[図47]

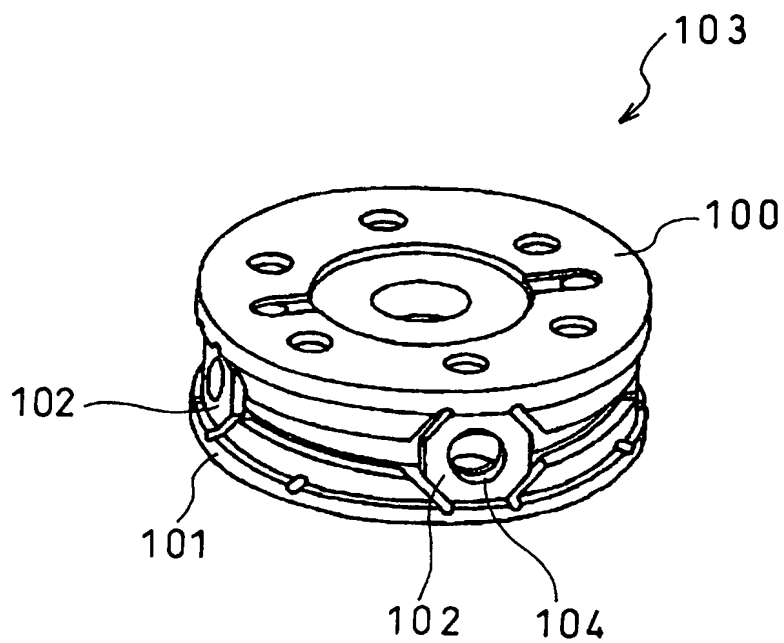


[図48]





[図49]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008438

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01L5/16, G01L1/22, G01P15/18, G01P15/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01L5/16, G01L1/22, G01P15/18, G01P15/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2581820 B2 (Kabushiki Kaisha Fuji Denki Sogo Kenkyusho), 12 February, 1997 (12.02.97), Full text; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1-7, 13, 23 24 14
X	JP 7-174786 A (Fujikura Ltd.), 14 July, 1995 (14.07.95), Par. Nos. [0009] to [0012]; Fig. 1 (Family: none)	8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
01 September, 2004 (01.09.04)

Date of mailing of the international search report  
21 September, 2004 (21.09.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office.

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008438

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 54-9074 B2 (DATEX OY INSINÖÖRITOIMISTO), 20 April, 1979 (20.04.79), Full text; all drawings & GB 1284055 A Full text; all drawings & DE 2119193 B & FR 2089990 A & FI 45099 B & CA 938810 A & SE 376799 B	9-12 15-22
Y	JP 2838361 B2 (Osaka-Fu), 16 December, 1998 (16.12.98), Par. Nos. [0012] to [0017] (Family: none)	24

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01L5/16, G01L1/22, G01P15/18, G01P15/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01L5/16, G01L1/22, G01P15/18, G01P15/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2581820 B2 (株式会社富士電機総合研究所) 1997. 02. 12, 全文、第1-7図 (ファミリーなし)	1-7, 13, 23
Y		24
A		14
X	JP 7-174786 A (株式会社フジクラ) 1995. 07. 14, 【0009】-【0012】, 第1図 (ファミリーなし)	8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 09. 2004

国際調査報告の発送日

21. 9. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
松浦 久夫

2 F

9613

電話番号 03-3581-1101 内線 3215

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 54-9074 B2 (ダテックス・オイ・インジオナーリ イトイリスト) 1979. 04. 20, 全文, 全図 & GB 1284055 A, 全文, 全図 & DE 2119193 B & FR 2089990 A & FI 45099 B & CA 938810 A & SE 376799 B	9-12
A		15-22
Y	JP 2838361 B2 (大阪府) 1998. 12. 16, 【0012】 - 【0017】 (ファミリーなし)	24